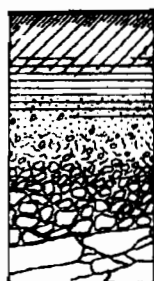


T. MONG - GINE

**MISE EN CULTURE ET INTERACTIONS
EAU - SOL - PLANTE :
ETUDE DE TROIS SITES EN
REGION FERRALLITIQUE DE SAVANE
(TOUBA , NORD- OUEST DE LA CÔTE D'IVOIRE)**

PEDOLOGIE EXPERIMENTALE



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE - MER

CENTRE D'ADIOPODOUMÉ - CÔTE D'IVOIRE

B.P.V 51 - ABIDJAN



Septembre 1979

SOMMAIRE

Page

AVANT PROPOS	1
<u>INTRODUCTION</u>	2
 1. <u>LE MILIEU</u>	 4
1.1. Les caractères généraux	4
1.1.1. Le climat	4
1.1.2. La végétation	4
1.1.3. La géologie et le modelé	5
1.1.4. Le milieu humain et histoire agricole	5
1.2. Les sites étudiés	6
1.2.1. Le choix des sites	6
1.2.2. Les trois toposéquences	7
 2. <u>ETUDE MORPHOLOGIQUE DES TROIS SITES : LES SOLS ET LEUR</u> <u>COUVERTURE VEGETALE</u>	 9
2.1. Bambadougou	9
2.2. Guintéguéla	10
2.3. Soula	12
2.4. Conclusion	13
 3. <u>LES PROPRIETES PHYSIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DES SOLS</u>	 14
3.1. Granulométrie	14
3.2. Densité apparente, densité réelle et porosité	15
3.3. Perméabilité des sols - Méthode PIOGER	18
3.4. Dynamique de ressuyage et capacité au champ des sols	20
3.5. pF et eau disponible pour les plantes	21
3.6. Instabilités structurales et propriétés mécaniques (Limites d'ATTERBERG)	23
3.7. Résistance du sol à la pénétration	26
3.7.1. Pénétrométrie à masse	27
3.7.2. Pénétrométrie à aiguille PROCTOR	28
3.8. Etude infiltrométrique sur le sol de Soula	30
3.8.1. Le ruissellement et l'érosion sous pluies simulées ...	30
3.8.2. Le drainage interne du sol cultivé de Soula	31
3.8.2.1. Principe de la méthode	31
3.8.2.2. Expérimentation et résultats obtenus	33
3.8.2.3. Conclusion	38

4. <u>LES PROPRIETE CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES</u>	39
4.1. pH	39
4.2. Matières organiques : carbone et azote	40
4.3. Complexe absorbant	43
4.4. Phosphore	45
4.5. Fer	45
4.6. Bases totales	46
4.7. Vers de terre	46
4.8. Densité racinaire	47
 <u>CONCLUSION</u>	 48
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	50
<u>ANNEXES</u>	
1 : Le langage typologique : nomenclature des principaux termes utilisés	55
2 : Les résultats des analyses de laboratoire	62
3 : Etude des éléments grossiers et eau disponible pour les plantes	72
4 : Le tensiomètre à bougie poreuse et la sonde à neutrons : Principes et fonctionnement	79
5 : Test de fragmentation des v/zoolites (déjections de ver de terre) de Soula	83

LISTE DES FIGURES

	Page
1.a)- Pluviométrie et évapotranspiration PENMAN	4-5
b)- Analyse fréquentielle des pluies	4-5
2. Carte des grandes formations géologiques - Localisation des sites étudiés	5-6
3. Esquisse de blocs diagrammes des 3 toposéquences - Loca- lisation des couples	8-9
4. Toposéquence de Bambadougou	8-9
5. Toposéquence de Guintéguéla	8-9
6. Toposéquence de Soula	8-9
7. Légende des schémas de profils	8-9
8. Triangle textural	8-9
9. Milieu naturel du couple Bambadougou	9-10
10. Milieu cultivé du couple Bambadougou	9-10
11. Coupe schématique montrant l'organisation des différents hoplexols du milieu cultivé à Bambadougou	9-10
12. Milieu naturel du couple Guintéguéla	10-11
13. Milieu cultivé du couple Guintéguéla	11-12
14. Milieu naturel du couple Soula	12-13
15. Milieu cultivé du couple Soula	12-13
16. Profils granulométriques des trois couples et densités apparentes mesurées sur le terrain	14-15
17. Perméabilités mesurées sur le terrain (méthode PIOGER)...	19-20
18. Dynamique de ressuyage des sols de Bambadougou et de Guintéguéla	20-21
19. Dynamique de ressuyage des sols de Soula	20-21
20. Ressuyage en surface sur le couple de sols de Soula immé- diatement après une pluie	20-21
21. Humidités à différents pF des horizons superficiels des 3 couples de sols	22-23

	Page
22.a)- Agrégats stables à l'alcool, à l'eau et au benzène sur les horizons superficiels des 3 couples de sols	23-24
b)- Stabilité structurale d'après les 2 indices Is et K...	23-24
23. Les caractéristiques mécaniques des horizons de surface sur les 3 couples de sols (Indices d'ATTERBERG)	25-26
24. Profils pénétrométriques (pénétrométrie à masse)	27-28
25. Profils hydriques caractéristiques du sol cultivé de Soula	34-35
26. Quelques profils hydriques du sol cultivé de Soula obtenus lors de l'essai de drainage interne	36-37
27. Evolution dans le temps de la teneur en eau à différentes cotes durant l'essai de drainage interne du sol cultivé de Soula	36-37
28. Variation du stock hydrique S, en mm d'eau, entre la surface du sol et un niveau de référence Z, durant l'essai de drainage interne sur le sol cultivé de Soula.....	36-37
29. Quelques profils de charge hydraulique durant l'essai de drainage interne sur le sol cultivé de Soula	36-37
30. Relations entre pression de l'eau (h) et teneur en eau (θ) obtenues lors de l'essai de drainage interne sur le sol cultivé de Soula (courbe de succion)	37-38
31. Relations entre conductivité hydraulique (K) et teneur en eau (θ) obtenues lors de l'essai de drainage interne sur le sol cultivé de Soula	38-39
32. pH-eau des 3 couples de sols	39
33. Le complexe absorbant	43-44
34. Densité racinaire	47-48
35.a)- Schéma d'un tensiomètre	80-81
b)- Détermination tensiométrique de la direction des transferts d'eau dans le sol	80-81
36. Test de fragmentation des v/zoolites de Soula	83bis

LISTE DES TABLEAUX

	Page
1 - Densités et porosités des éléments grossiers	16
2 - Porosités des horizons superficiels	17
3 - Variations avec la mise en culture des teneurs en agrégats stables à l'alcool , à l'eau et au benzène des horizons de surface	24
4 - Valeurs de I_s dans les horizons superficiels des 3 couples de sols	25
5 - Indices de pénétrométrie et indices de prise en masse sur les 3 couples de sols	29
6 - Bilan des infiltrations de 4 pluies sur le sol cultivé de Soula	34
7 - Calcul des relations $K(\theta)$ et $h(\theta)$ pour la cote $Z = 25$ cm sur le sol cultivé de Soula	37
8 - Comparaison des teneurs en nitrates des horizons de surface sur les 3 couples de sols (mesures faites sur le terrain), et densité des v/zoolites	42
9 - Azote minéral dans les horizons superficiels des 3 couples de sols (en 10^{-5})	43
10 - Teneurs moyennes en fer des 3 sols	45
11 - Teneurs moyennes en bases totales des 3 sols	46
12 - Approche de la répartition de l'eau dans un gravolite. Porosités et eau associée aux catégories de vides. Eau utilisable par les plantes dans les horizons gravoliques	74-75
13 - Eau disponible pour les plantes dans les 3 couples de sols	77

MISE EN CULTURE ET INTERACTIONS EAU-SOL-PLANTE :
ETUDE DE TROIS SITES EN REGION FERRALLITIQUE DE
SAVANE (TOUBA, NORD-OUEST DE LA COTE D'IVOIRE)

T. MONG-GINE - Septembre 1979

RESUME

Dans le nord-ouest de la Côte d'Ivoire, en région ferrallitique de savane, l'auteur a observé et mesuré différentes transformations sur des sols nouvellement défrichés et cultivés depuis deux ans en coton puis en riz selon le modèle courant des blocs de culture G.V.C. (Groupements villageois coopératifs).

Parmi les trois sites étudiés, deux sont formés sur roches granitiques et appartiennent à des types de sols très répandus dans la région : ils comportent à faible profondeur (15 et 25 cm) un horizon gravillonnaire et se distinguent l'un et l'autre par la profondeur de localisation de cet horizon, ensuite par la présence ou non d'un niveau de cuirasse, et enfin par la composition texturale de la terre fine. Le troisième site est par contre un sol beaucoup moins fréquent : dérivé de roche basique (Dolérite), il ne contient pratiquement pas d'éléments grossiers sur 1,5 à 2 m. de profondeur.

Sur des stations couplées milieu naturel/milieu cultivé, l'étude morphologique des sols et de leurs couvertures végétales par le diagnostic typologique a révélé des différences nettes d'organisation et de comportement entre les trois sites et entre les sols cultivés et les sols non cultivés d'un même site.

Les principales transformations concernent d'abord la couverture végétale et les états de surface du sol, ensuite l'horizon de sol perturbé par les instruments de culture et celui situé en dessous.

Pour les sols, ces différences ont été confirmées et leurs valeurs mesurées par des analyses physico-chimiques de laboratoire, et à l'aide de divers tests dynamiques, entre autres des mesures de densité, perméabilité Pioger, ressuyage après humidification, résistance à la pénétration, etc...

Généralement, la mise en culture a diminué les potentialités du sol. Il est notamment apparu que l'ameublissement par le labour de l'horizon superficiel s'accompagne d'un compactage de l'horizon sous-jacent. Le régime de l'eau est alors modifié dans le sens d'une augmentation de la perméabilité de l'horizon labouré par rapport à son équivalent naturel, et au contraire une réduction des infiltrations dans les horizons compactés.

Comparé aux milieux sous végétation naturelle, l'enracinement des sols cultivés est très faible.

Chimiquement, la mise en culture a entraîné une acidification de la partie supérieure du sol et une baisse des teneurs en éléments fertilisants.

La comparaison entre les données relevées sur les trois sites montre que les deux sols gravillonnaires semblent mieux convenir aux cultures pratiquées que le sol profond et sans éléments grossiers. Il apparaît ainsi qu'un diagnostic agrologique basé sur la seule description d'un profil pédologique ne suffit pas pour permettre de formuler un jugement réaliste sur les potentialités agronomiques d'un sol. En effet le sol profond et sans éléments grossiers aurait pu être retenu préférentiellement aux deux autres types de sols. L'expérimentation s'avère donc nécessaire pour une bonne caractérisation des sols.

AVANT PROPOS

Le présent travail a nécessité environ 3 mois de terrain, effectués en collaboration avec C. VALENTIN. Au cours de cette étude, C. VALENTIN a étudié sur nos sites les problèmes de résistance des sols à la pénétration, certains de leurs comportements vis-à-vis des pluies simulées et les caractéristiques biologiques. Nous lui devons, dans ce rapport, les résultats qui s'y rapportent.

INTRODUCTION

La transformation des sols par les cultures est un phénomène empiriquement bien connu. Le paysan abandonne son champ à la jachère lorsqu'il n'en tire plus un avantage substantiel. Pour l'exploitant usant de techniques plus avancées, cet épuisement se traduit généralement par l'augmentation des frais de production.

Dans toute entreprise, le meilleur profit passe le plus souvent par une parfaite connaissance pour un bon contrôle des divers facteurs entrant en jeu dans l'opération. En ce qui concerne les sols, l'étude de leur comportement vis-à-vis des agents naturels (l'eau en particulier) et anthropiques (travaux cultureux) doit permettre d'établir des prédictions plus précises quant à leurs potentialités et aptitudes culturales.

C'est ainsi que l'ORSTOM a lancé un vaste programme de recherche sur la genèse des sols et leur évolution actuelle. Notre étude s'inscrit dans ce cadre et fait suite aux travaux effectués par ROOSE (1973) sur l'érosion et le ruissellement, de BLIC (1976 et 1978) portant sur le comportement des sols en culture semi-mécanisée, BEAUDOU et de BLIC (1978) sur la morphologie des complexes sol-plante, POSS (1978) sur la dynamique de l'eau saturante à la périphérie d'un inselberg, et VALENTIN (1978) sur divers aspects des dynamiques actuelles de quelques sols ferrallitiques.

Le présent travail réalisé dans le nord-ouest de la Côte d'Ivoire a pour objectif principal la mise en évidence, si possible chiffrée, des effets du défrichement et de la mise en culture sur la morphologie et le comportement des sols. Il s'agit essentiellement d'établir le maximum de relations entre les caractéristiques morphologiques obtenues au moment de la description du sol, et ses différentes réactions enregistrées lors d'expériences appropriées. A cette fin, nous mettrons en oeuvre des techniques éprouvées pour la caractérisation morphologique du complexe formé par le sol et son environnement végétal (langage typologique : CHATELIN et MARTIN 1972, RICHARD, KAHN et CHATELIN 1977, BEAUDOU et al. 1978.) et pour les mesures des caractéristiques physiques, hydrodynamiques, chimiques et biologiques des sols (densimétrie, pénétrométrie, cinétique d'infiltration après simulation d'averses, etc...). La méthode d'approche sera fondée sur l'étude de stations couplées milieu naturel - milieu cultivé, technique déjà utilisée par de BLIC (1976) pour la caractérisation des sols cultivés dans le Centre de la Côte d'Ivoire, et VALENTIN (1978), pour l'analyse de certains facteurs intervenant sur le ruissellement et l'érosion dans le domaine des sables tertiaires du Sud de la Côte d'Ivoire.

Nous présentons ici les résultats portant sur l'étude de trois couples de sols choisis parmi les sols caractéristiques fréquemment utilisés dans la région de Touba. Ils sont à verser dans le vaste programme de cartographie pédologique réalisé dans le Nord de la Côte d'Ivoire, destiné à une meilleure connaissance des ressources en sols du pays.

1. LE MILIEU

1.1. LES CARACTERES GENERAUX

1.1.1. Le climat

La région de Touba se trouve à la limite méridionale du domaine soudanais, secteur subsoudanais (ELDIN, 1971).

Il pleut en moyenne 1367 mm/an, la pluviométrie augmentant vers le sud et l'ouest en direction de la Guinée. La courbe des précipitations tend vers un sommet, les mois les plus arrosés allant de juin à septembre (fig. 1a). De novembre à mars la saison sèche est marquée et l'ETP élevée. Cette pluviométrie a un caractère très variable (fig. 1b) ; ainsi il est tombé cette année en avril et mai moins que la moitié des moyennes mensuelles à SOULA, localité située à l'ouest de Touba.

L'isotherme 25°C passe à la latitude de Touba et partage la région en deux : la température est en moyenne plus élevée au nord qu'au sud. De même l'atmosphère est plus sèche au nord qu'au sud (ELDIN et DAUDET, 1967).

En faisant une étude bibliographique des données agro-climatologiques actuelles sur la région de Touba, CHEVREAU (1978) trouve qu'il existe 4 sous-régions agro-climatiques autour de Touba. Ce sont le nord-ouest, le nord-est, le sud-est et le sud-ouest.

1.1.2. La végétation

La végétation caractéristique de la région est celle appartenant au domaine climatique soudanais, secteur subsoudanais. Elle est constituée par la savane (savane boisée, arborée ou arbustive) et par la forêt claire et forêt dense sèche.

A une vingtaine de kilomètres au sud de Touba débute la savane guinéenne et la forêt associées au climat plus humide du domaine guinéen secteur mésophile.

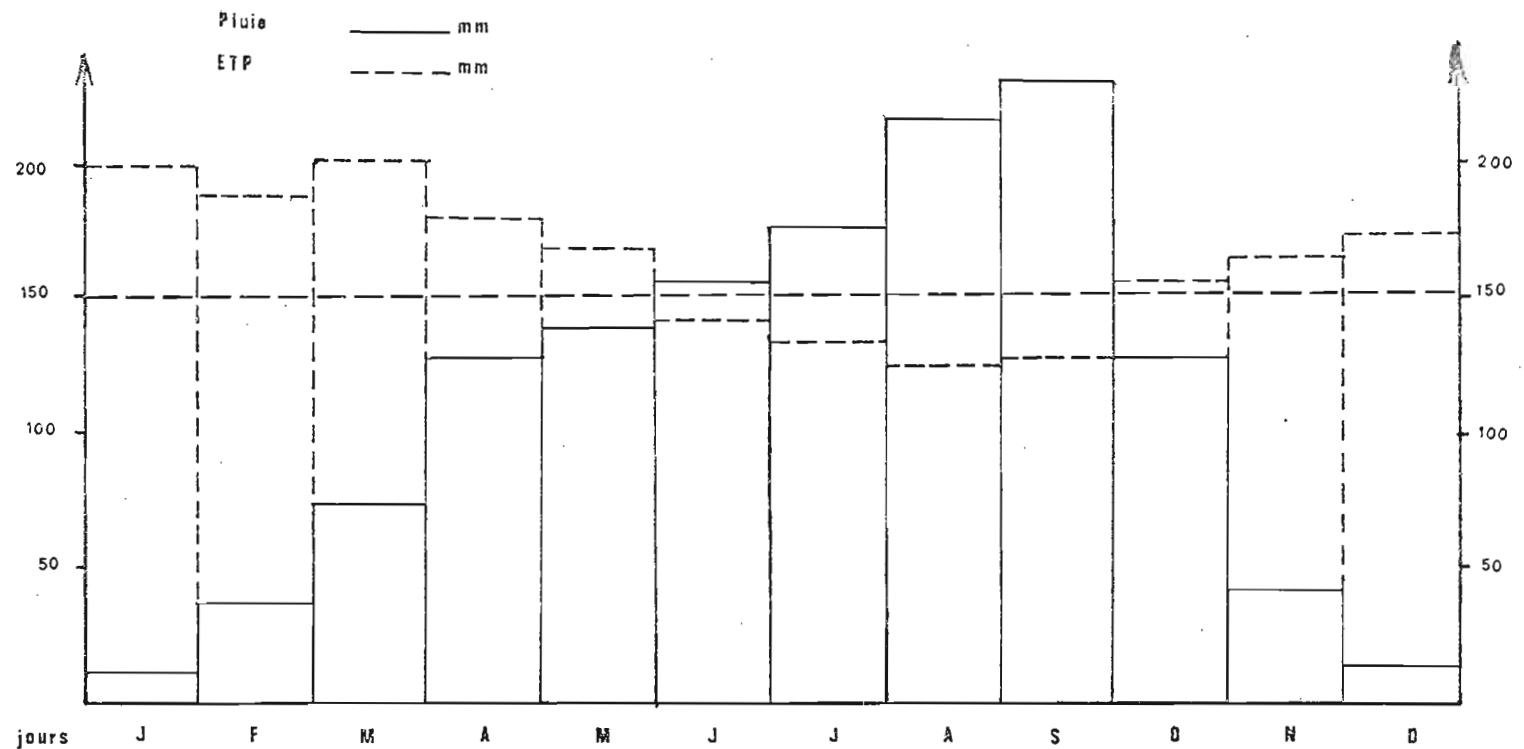
Toute cette végétation est de plus en plus défrichée pour les besoins de l'agriculture. GUILLAUMET et al. (1971) pensent que ces pratiques, ajoutées aux feux régulièrement allumés dans la savane tout au long de la saison sèche conduiraient à un appauvrissement de la flore originelle et à un amoindrissement de la fertilité des sols. Ces dégradations anthropiques seraient aussi à l'origine de tous les termes de passage entre les forêts claires typiques et les savanes herbeuses édaphiques ou anthropiques, à savoir les savanes boisées, les savanes arborées et les savanes arbustives.

Fig. 1

TOUBA

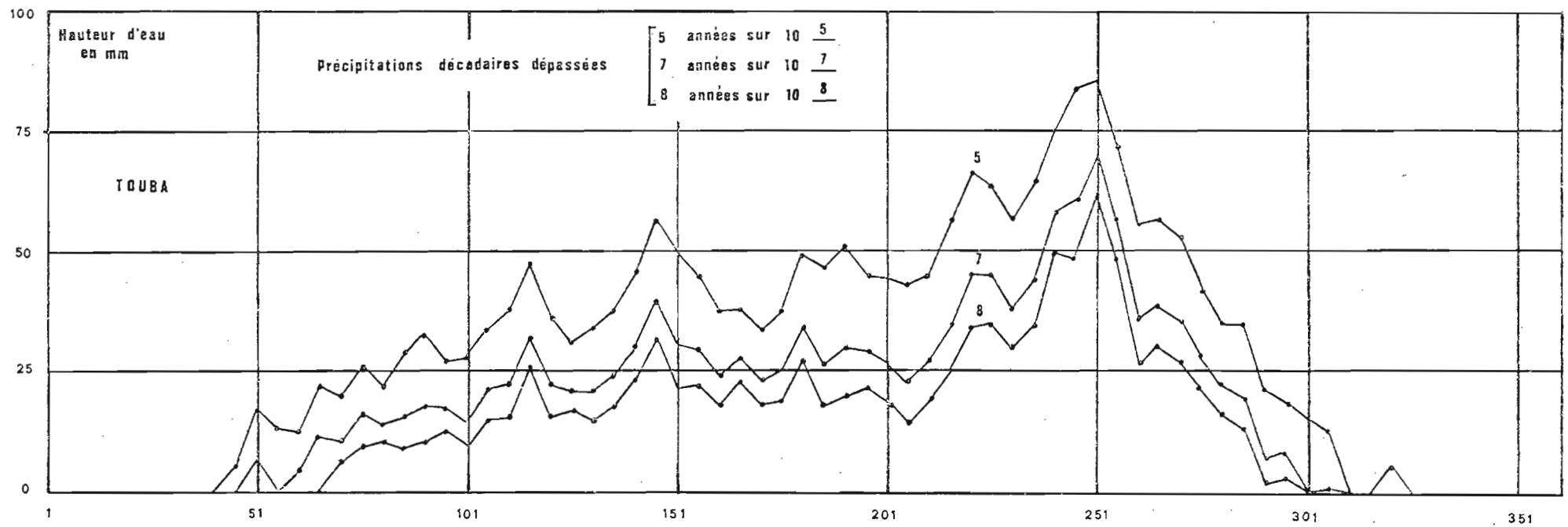
25 années de mesures *

a. PLUVIOMETRIE ET
EVAPOTRANSPIRATION
PENMAN



b. ANALYSE FREQUENTIELLE DES PLUIES

Etude par décades successives glissant de 5 en 5 jours



* Données du laboratoire de Bioclimatologie, CRSTOM.

1.1.3. La géologie et le modelé

La grande majorité des assises géologiques de la région de Touba sont constituées des restes d'un ancien socle cristallin archéen et d'importantes venues granitiques liées à l'orogénèse éburnéenne (TAGINI, 1965). Ce sont en grande partie des granito-gneiss, parmi lesquels : (fig. n°2)

- . les granitoïdes hétérogènes à biotite (granites indifférenciés) de Borotou et de la région occidentale de Touba,
- . les granites à hypersthène (charnockites) localisés au nord de Touba, dans les environs de Desséné,
- . les granito-gneiss à hypersthène à l'est de Touba et le long du Sassandra.

Ils forment un modelé à pentes généralement faibles, inférieures à 5%. Sur ces roches se sont développés le plus souvent des paysages pédologiques du type 1 et 2 définis par BEAUDOU et CHATELIN (1977), BEAUDOU et SAYOL (1979):

"Paysage de plateaux et de témoins cuirassés, puis paysage de plateaux et de témoins cuirassés partiellement démantelés". Moins fréquents seraient les paysages de type 3 (paysage de collines légèrement convexes ou plan-convexes), de type 5 (paysage de collines à sommets irréguliers riches en affleurements rocheux et versants rectilignes) et de type 6 (paysage de collines à sommets irréguliers partiellement rocheux et versants convexes).

Les reliefs les plus élevés sont formés de roches basiques (dolérite) qui couvrent une assez large bande de l'ouest au sud de Touba. Elles ne constituent cependant qu'une toute petite partie des roches-mères de la région (quelques pourcents ?). Ces roches vertes sont résistantes à l'érosion et se dressent sous forme de dykes de tailles variées. Elles forment le paysage de type 10 (paysage de massifs de roches mélanocrates) caractérisé par l'allongement des affleurements et l'importance des dénivelées (pentes de 5 à 10 %).

1.1.4. Le milieu humain et histoire agricole

La densité moyenne de la population est de 10 à 20 habitants au km². Une très faible densité est enregistrée au nord et le long de la rivière FéréDougouba-Bagbé qui constitue une frontière entre les groupes ethniques Mahou au sud et Malinké au Nord (DUCHEMIN, 1979). Cependant une plus grande concentration pouvant atteindre 50 habitants au km² est relevée dans la savane préforestière au sud-ouest de Touba (sud de Waninou).

Les Mahou constituent le groupe ethnique le plus important de la région de Touba. Ce sont avant tout des agriculteurs. Il en est de même des Malinké, mais ceux-ci accordent une plus grande importance à l'élevage (DOUMENGE, 1979). Le riz constitue la culture principale, suivie du manioc, de l'igname et du maïs. Dans la zone de contact forêt-savane, la banane est également cultivée.

CARTE DES GRANDES FORMATIONS GEOLOGIQUES

Fig. 2


— Localisation des sites étudiés —

LEGENDE :

 Granite

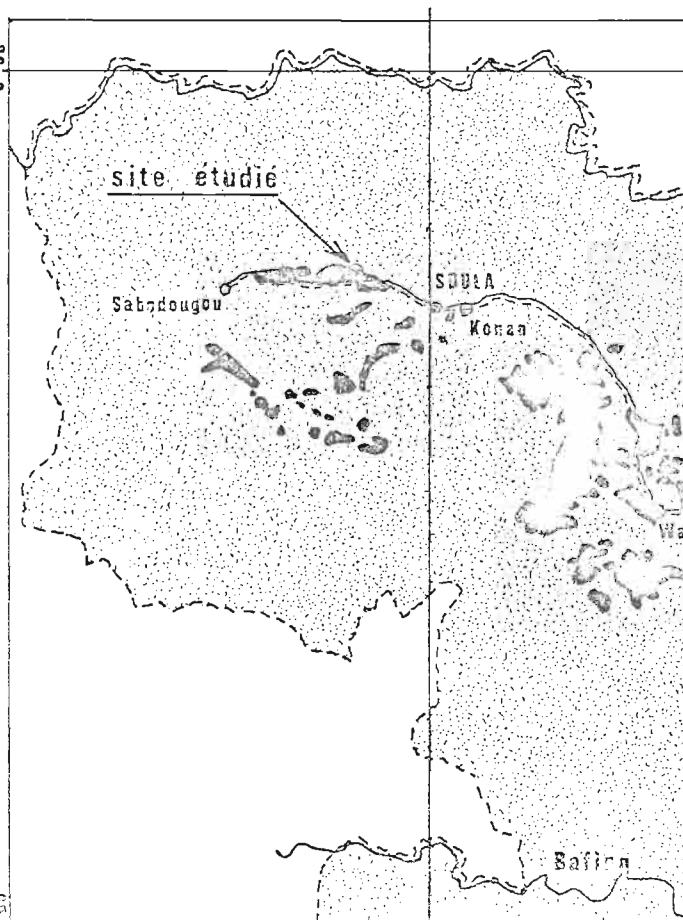
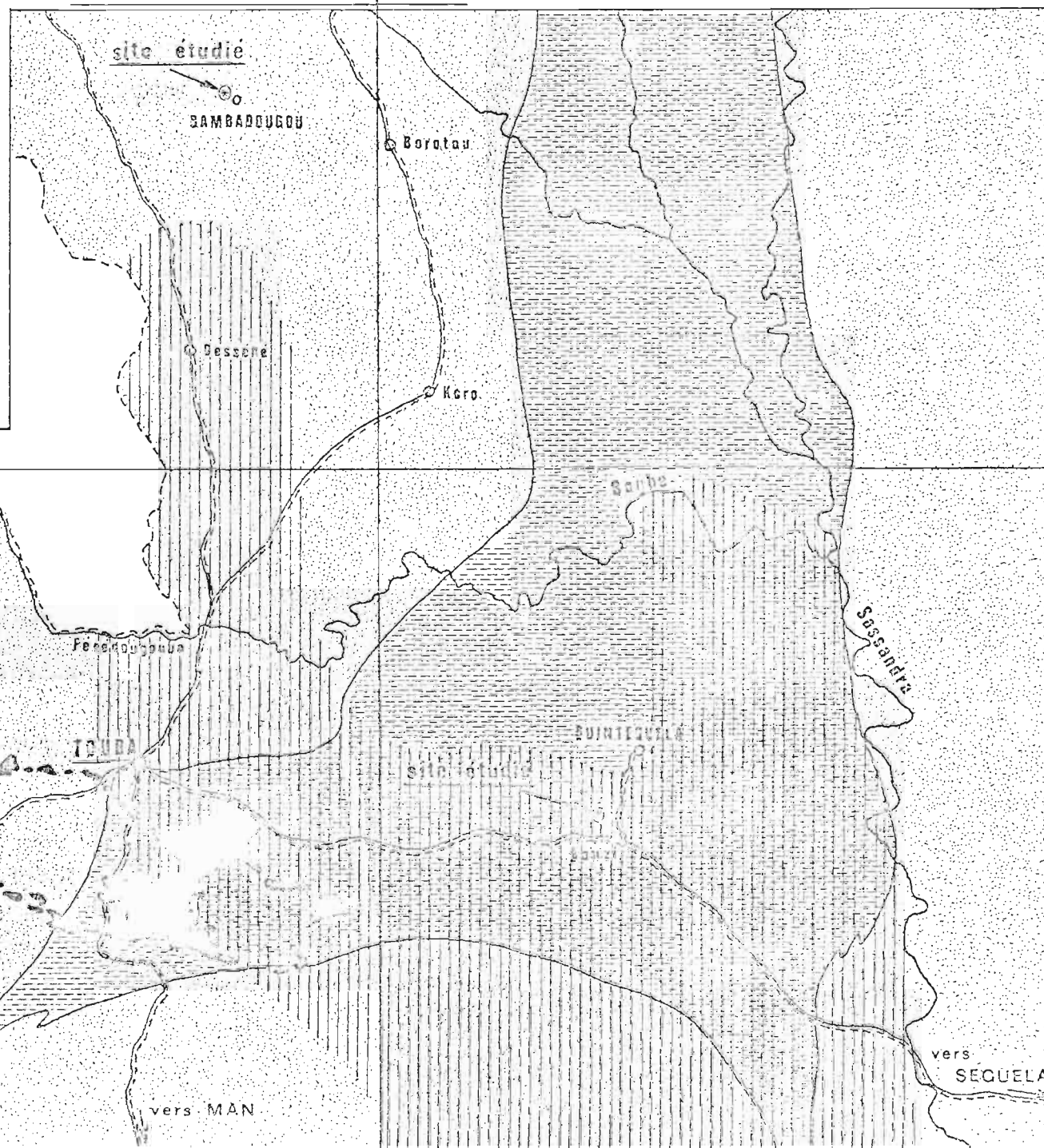
 Gneiss

 Dolérite

 Roche à hypersthène

ECHELLE :

0 5 10 15 Km



Mais chez les Malinkés, au nord de la FéréDougouba, l'igname précède le riz et le manioc dans l'ordre d'importance des cultures (HAERINGER, 1969).

Les paysans opèrent par défrichement de petites parcelles situées autour des villages, qui sont abandonnées à la jachère après un certain nombre d'années de culture. Depuis 1976, de nombreuses coopératives villageoises (G.V.C. = Groupement à vocation coopérative) ont vu le jour sous l'impulsion de la SODERIZ (Société d'Etat chargée du Développement de la culture du riz). Les paysans associés travaillent alors dans un même "bloc cultural". Ces coopératives sont actuellement encadrées par la C.I.D.T. (Compagnie pour le Développement de la culture cotonnière) dans un système de cultures semi-mécanisées de riz et coton.

Depuis deux années, la culture cotonnière a donc pris un grand essor dans la région de Touba. Dans la plupart des cas, les blocs culturels de 30 à 70 hectares ont été défrichés à l'aide de moyens lourds. Ces travaux n'ont pas toujours répondu à une demande des villageois puisque de nombreux champs n'ont jamais été cultivés, ou alors très vite abandonnés.

Une autre opération agricole s'occupe du développement des cultures de la pomme de terre et de manioc. La SODEFEL (Société pour le Développement des Fruits et Légumes) dirige cette action au nord de Touba sur les berges de la FéréDougouba, et au sud de Waninou à une vingtaine de kilomètres à l'ouest de Touba.

1.2. LES SITES ETUDIES

1.2.1. Le choix des sites

Ce travail a été réalisé à la suite d'une longue reconnaissance d'une quinzaine de jours qui nous a permis de visiter des exploitations de type familiale et de type G.V.C.

Nous avons porté notre choix sur les blocs G.V.C. qui constituent une forme d'entreprise nouvelle, installés sur des terres non encore cultivées. En tenant compte de l'existence de sous-régions naturelles, le choix consistait à trouver des périmètres cultivés dont les caractéristiques tant du point de vue du paysage, des sols, de la végétation et des types de culture se montrent les plus représentatives possibles. Les blocs culturels de grande taille sont susceptibles de couvrir la partie du paysage les plus représentatives du milieu. Mais dans ce cas-là le défrichement peut arriver près des affleurements de cuirasse ou en bordure de marigots, rendant difficile le choix d'un couple, surtout lorsque tout le périmètre n'est pas cultivé.

Notre étude exige enfin une lisière franche entre le domaine cultivé et le milieu non cultivé, l'existence de voies d'accès aux véhicules et d'un point de ravitaillement en eau (mesures infiltrométriques).

La visite d'une quinzaine de G.V.C. nous a permis de faire le choix des 3 sites suivants, localisés entre 50 et 70 Km de Touba (fig. 2) :

- . Bambadougou (BAM), au nord, dans la Sous-Préfecture de Borotou
- . Guinteguéla (GUI), à l'est, Sous-Préfecture de Guinteguéla
- . Soula (SOU), à l'ouest, Sous-Préfecture de Konan.

Ces blocs culturels offrent d'importantes surfaces cultivées le long des toposéquences ainsi que des témoins du milieu naturel (sol et végétation) tel qu'il se présentait avant les défrichements.

Les principales différences entre ces trois sites sont les suivantes :

Lieu	Roche-mère	Paysage	Climat	Ethnie	Activités agro-pastorales (*)
BAM	Granite indifférenciée	2	plus sec	Malinké	igname, riz, manioc, maïs, élevage.
GUI	Granito-gneiss à hypersthène	5	humide	Mahou	riz, manioc, igname, maïs
SOU	Dolérite	10	plus humide	Mahou	riz, manioc, igname, maïs banane.

(*) par ordre d'importance décroissante. La culture cotonnière s'ajoute à ces activités.

1.2.2. Les trois toposéquences

Dans ce qui suit, nous décrirons le milieu naturel et les sols (environnement), végétation, profils pédologiques et profils culturels avec les mots et les expressions du langage typologique élaboré par les chercheurs de l'ORSTOM : CHATELIN et MARTIN (1972) ; RICHARD, KAHN et CHATELIN (1977) ; BEAUDOU et CHATELIN (1977) ; BEAUDOU et COLLINET (1977) ; BEAUDOU (1977) ; BEAUDOU et al. (1978).

L'annexe 1 établit une nomenclature des termes utilisés dans ce rapport.

Il convient de noter que le levé des 3 toposéquences a nécessité un travail assez laborieux auquel C. VALENTIN a largement participé. Une dizaine de fosses pédologiques ont été ouvertes et décrites le long de chaque toposéquence pour le choix des couples.

Les sols observés ont été regroupés dans des segments pédologiques (BEAUDOU et CHATELIN, 1977) dont nous donnons la description d'un profil représentatif sur les figures n° 4, 5 et 6 représentant le profil en long des 3 sites étudiés. Rappelons que les 3 toposéquences représentent 3 types de paysage différents que nous avons schématisés sur la figure n° 3.

Nous retiendrons les principales caractéristiques suivantes :

. BAMBADOUGOU

Les sols sont très peu profonds, limités à 15-20 cm par un gravolite auquel fait suite un stérile. Sur cette toposéquence, les sols les plus fréquents sont des Lepto-apexols. La texture est essentiellement sablo-argileuse (cf. triangle des textures, fig.8). Ils sont classés parmi les Sols ferrallitiques remaniés et indurés (ESCHENBRENNER et BADARELLO, 1975).

. GUINTEGUELA

Le gravolite est présent à 25-35 cm de profondeur, il donne suite à un structi-altérile plus ou moins gravolique. Les sols sont essentiellement des Brachy-apexols peu développés ou stricts. La texture est sablo-argileuse (nettement plus argileuse que les sols de Bambadougou), devenant argileuse en profondeur. Ce sont des Sols ferrallitiques typiques faiblement remaniés.

. SOULA

Les sols sont plus variés sur cette toposéquence qui est aussi la plus déclive (fig.6). Dans la partie aval du haut versant, les sols sont profonds et homogènes. Ce sont des ortho-apexols sur gravolite et péto-stérile, ou des Sols ferrallitiques remaniés colluvionnés.

Sur chacune des 3 toposéquences, nous avons retenu un couple de sols qui sera étudié en détail. Les couples de Bambadougou et de Guinteguéla représentent les sols les plus fréquents sur les 2 toposéquences. Ils appartiennent à l'ensemble gravillonnaire (BEAUDOU et SAYOL, 1979) et à des types de sols très répandus dans les régions d'Odienné, Boundiali et Korhogo. Le couple de Soula est par contre très peu fréquent. Signalé dans la carte d'Odienné (ESCHENBRENNER et BADARELLO, 1975), il appartient à l'ensemble structichrome. Nous l'avons cependant retenu car il représente un "pôle" de la pédogenèse et des sols assez répandus dans d'autres pays comme à Madagascar par exemple (SEGALEN, 1957). En prospection pédologique classique, c'est un sol qui peut être retenu préférentiellement car il est profond et apparemment facile à mettre en valeur. Signalons qu'il est pourtant abandonné après seulement deux années de culture.

Fig. 3

ESQUISSE DE BLOCS DIAGRAMMES DES TROIS TOPOSEQUENCES

(Localisation des couples)

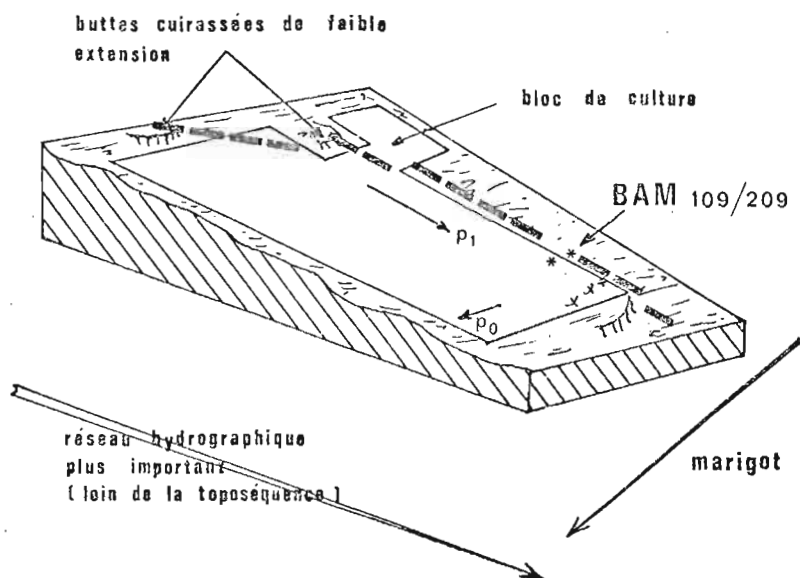
BAMBADOUGOU

(granite indifférencié)

- Sommet plan (buttes cuirassées partiellement démantelées)
- Haut de versant rectiligne (induré à l'aval)
- Bas de versant concave rectiligne
- p_1 pente principale
- p_0 pente très faible

PAYSAGE 2

longueur : 1750 m
dénivelée : 45 m



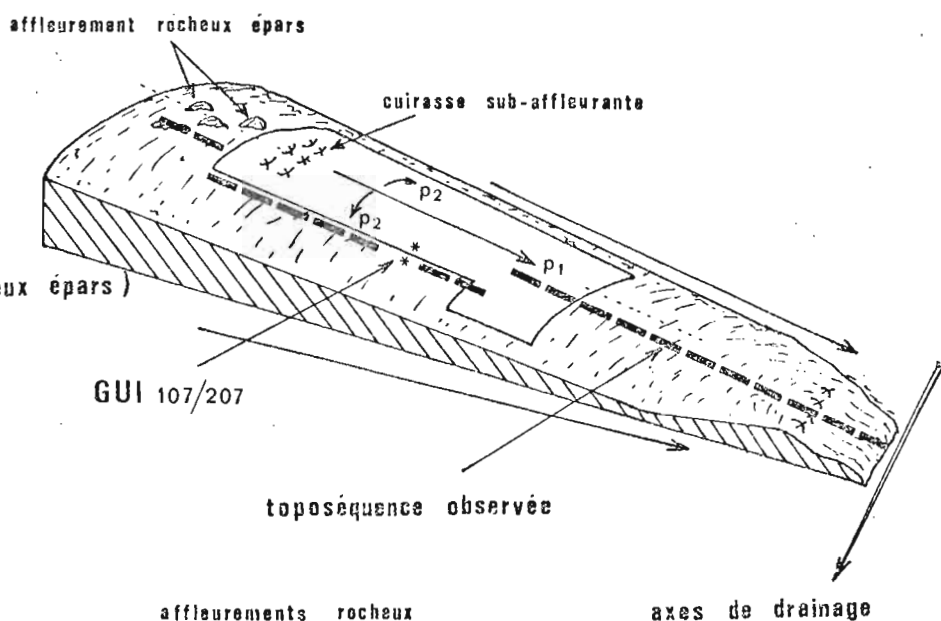
GUINTEGUELA

(granito-gneiss à hypersthène)

- Sommet plan convexe (affleurement rocheux épars)
- Haut de versant convexe
- Bas de versant convexo-concave
- pentcs $p_1 < p_2$

PAYSAGE 5

longueur : 2800 m
dénivelée : 60 m



SOULA

(dolérite)

- Sommet convexe rocheux
- Haut de versant convexe puis concave rectiligne
- Bas de versant concave puis rectiligne convexe

PAYSAGE 10

longueur : 900 m
dénivelée : 60 m

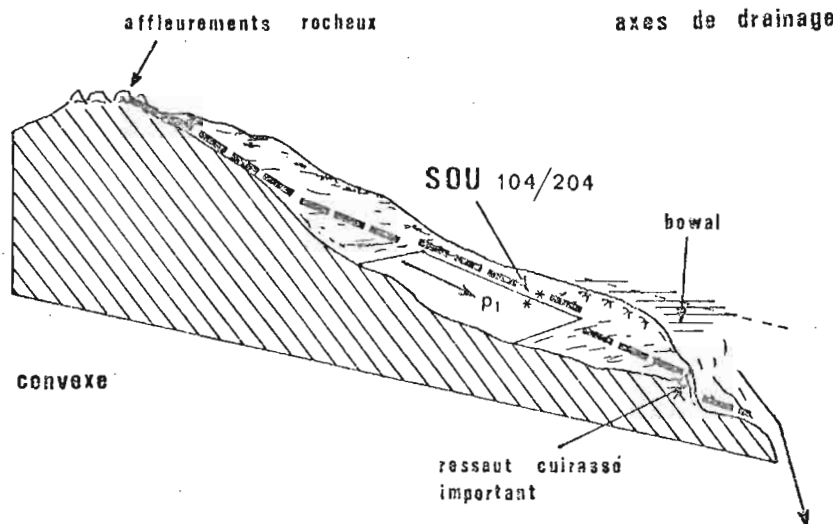
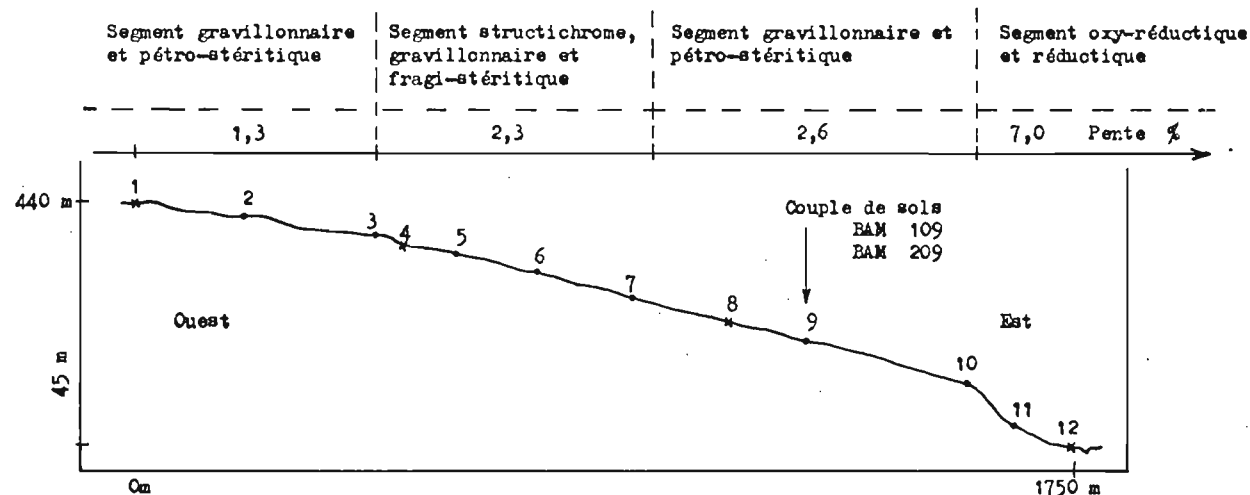


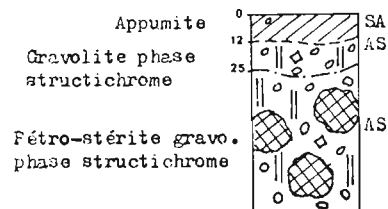
Fig. 4 — TOPOSEQUENCE DE BAMBADOUGOU

LOCALISATION :

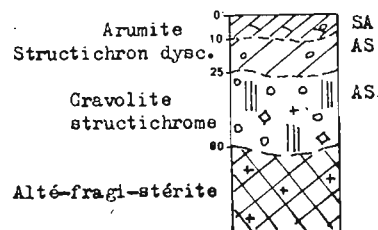
- Latitude : 8° 47 Nord
- Longitude: 7° 38 Ouest



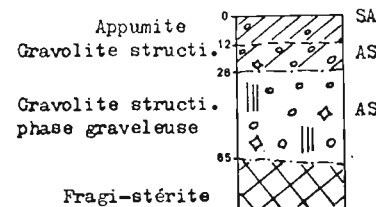
Profil 1: Lepto-apexol sur pétro-stérite gravolite



Profil 4: Brachy-apexol peu développé sur gravolite et alté-fragi-stérite



Profil 8: Lepto-apexol sur gravolite structichrome et fragi-stérite



Profil 12: Brachy-apexol peu développé sur réduction

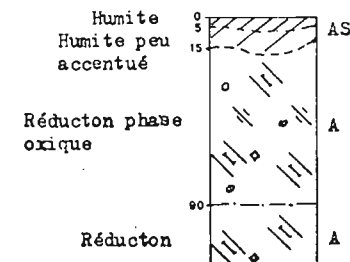
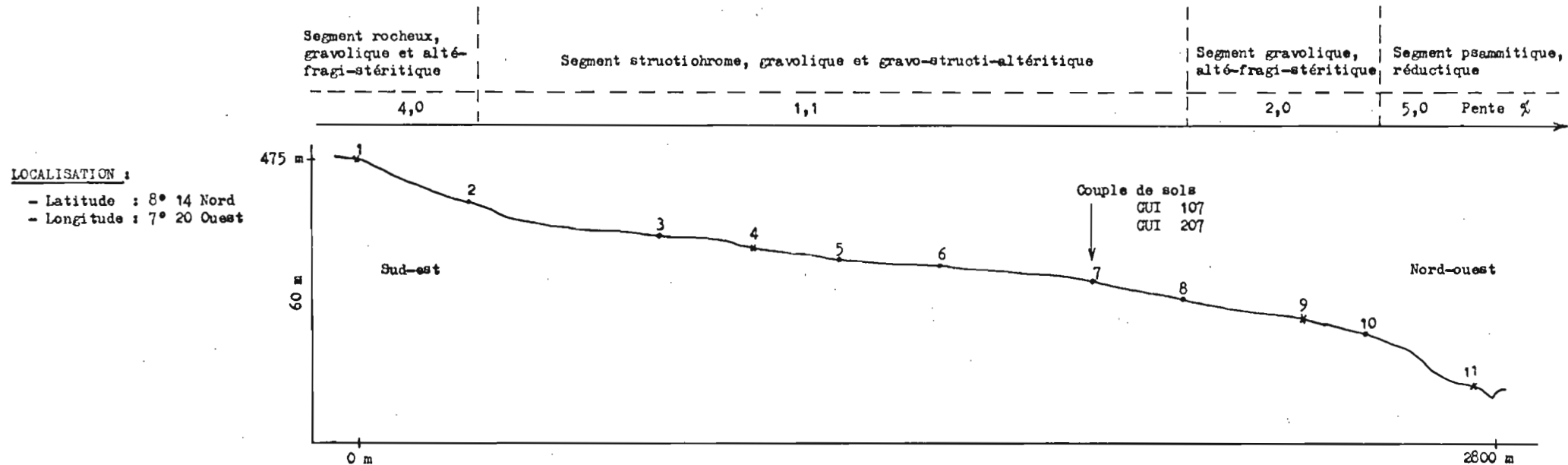
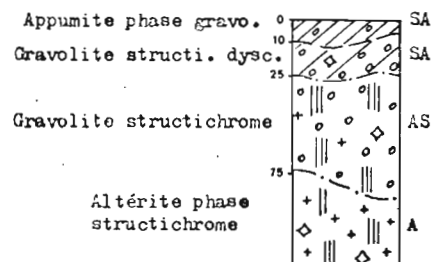


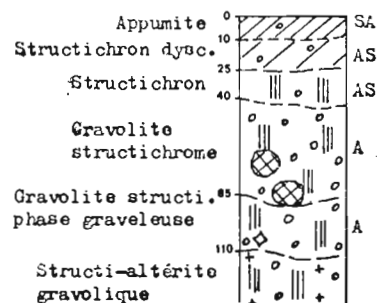
Fig. 5 — TOPOSEQUENCE DE GUINTEGUELA



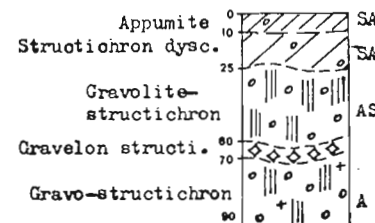
Profil 1: Lepto-apexol gravolite sur gravolite structichrome



Profil 4: Brachy-apexol strict sur gravolite structichrome



Profil 9: Brachy-apexol peu développé sur gravo-lite-structichron



Profil 11: Brachy-apexol peu développé psammitique sur psammiton

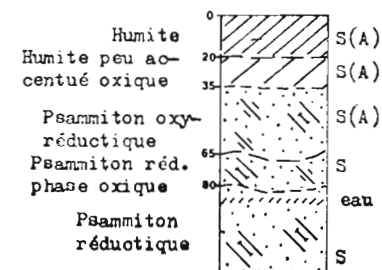
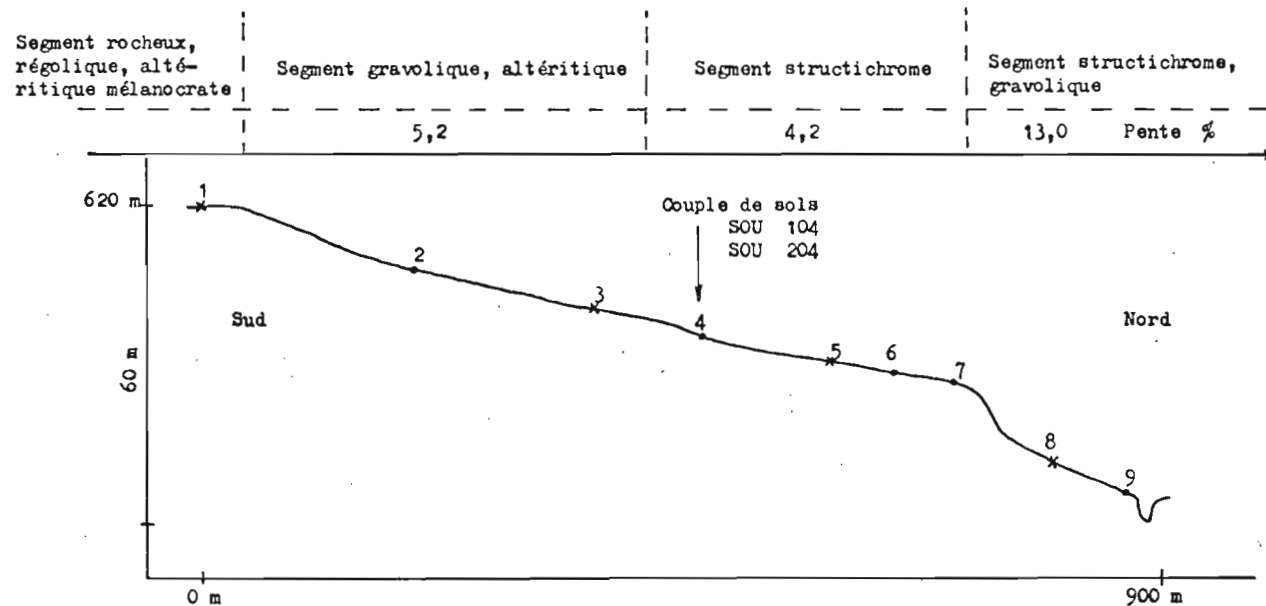


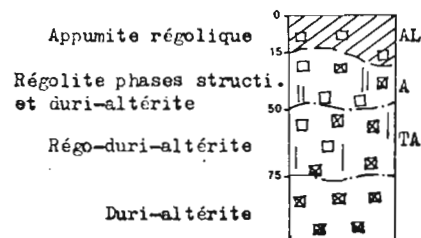
Fig. 6 — TOPOSEQUENCE DE SOULA



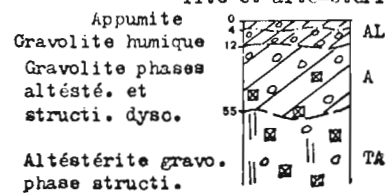
LOCALISATION :

- Latitude : 8° 23 Nord
- Longitude : 8° 02 Ouest

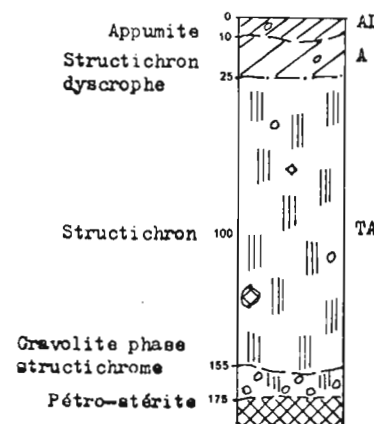
Profil 1: Lepto-apexol régolique sur régolite et duri-altérite



Profil 3: Lepto-apexol sur gravolite et alté-stérite



Profil 5: Ortho-apexol sur gravolite structichrome et pétro-stérite



Profil 8: Brachy-apexol sur gravolite

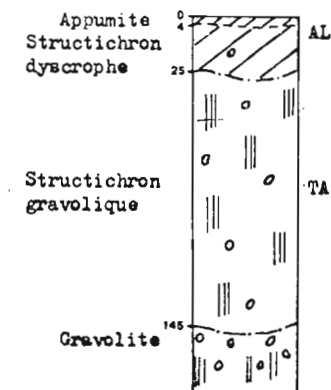


Fig. 7 LEGENDE DES SCHEMAS DE PROFILS.

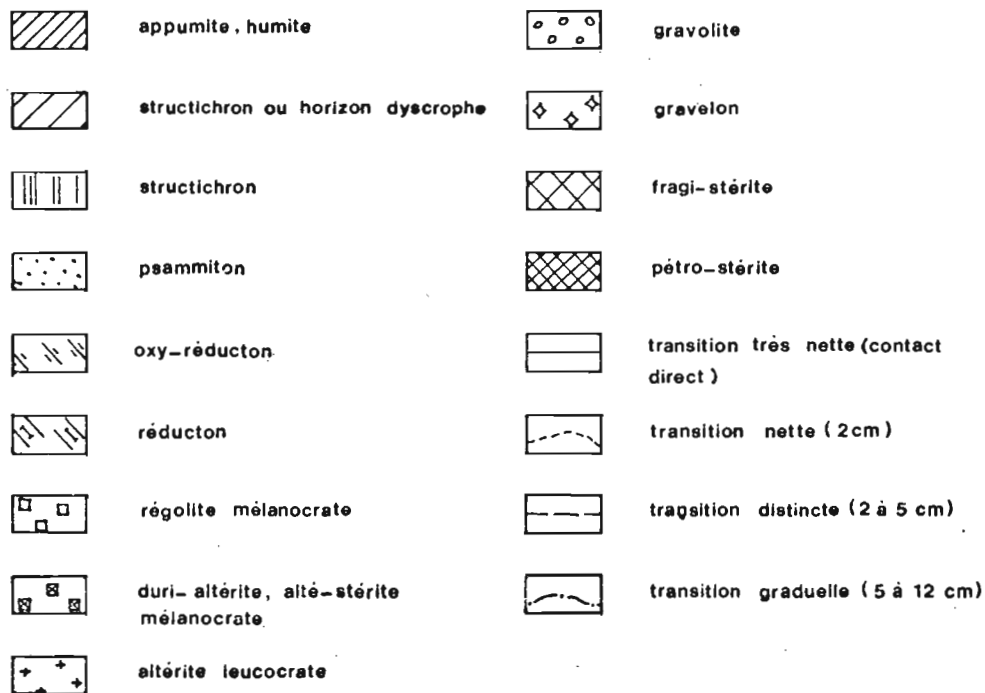
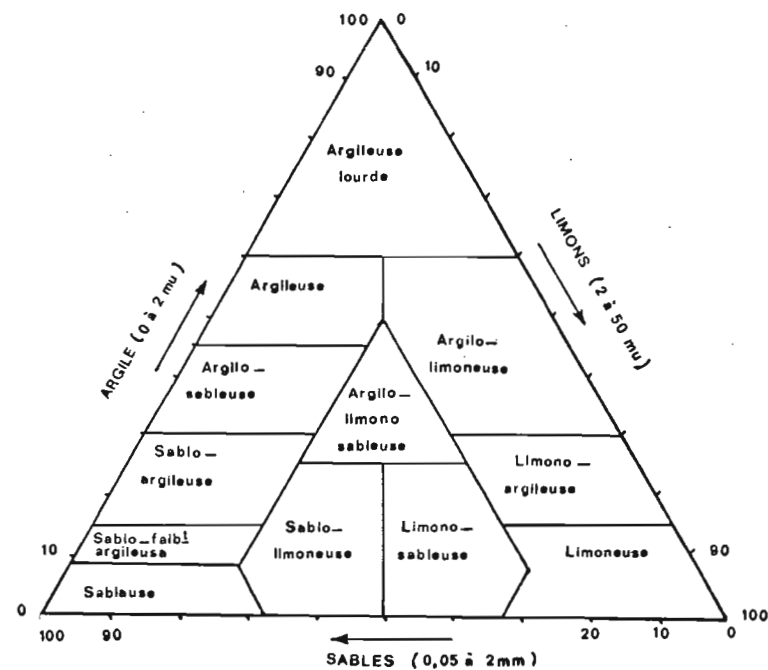


Fig. 8 TRIANGLE TEXTURAL



2. ETUDE MORPHOLOGIQUE DES 3 SITES : LES SOLS ET LEUR COUVERTURE VEGETALE.

Nous présenterons successivement chacun des trois couples de sols étudiés en examinant le milieu naturel, ensuite le milieu cultivé. Les caractères les plus saillants de chaque site seront regroupés sur une figure permettant une vue d'ensemble à la fois du sol et de sa couverture végétale.

2.1. BAMBADOUGOU

2.1.1. Milieu naturel (fig. 9)

Le supraplexion en milieu naturel est dégradé par les feux (hypsonécrophytion, téphralite) et ne couvre plus que partiellement le sol (propaliphyse aérophique).

La transparence du supraplexion aurait favorisé le développement du métaplexion supérieur qui est assez dense : c'est un gramen iso-stomaphique dominant un gramen nécrophytique fiolacé horicloïde iso-stomaphique. Cette structure du métaplexion supérieur devrait constituer un écran efficace contre l'impact des gouttes de pluies, pourtant le microrelief iso-kélécline, les épilites composés sableux continus et le dermilite continu témoignent d'une érosion assez forte du sol. Nous remarquerons que cette végétation est chaque année détruite par les feux de brousse. Mais la dénudation temporaire du sol suffit-elle à expliquer l'organisation observée à la surface du sol ?

L'enracinement est élevé dans tout le profil mais l'appumite est assez mal structuré (pauciclode), et la texture est plutôt sableuse. Le gravolite ne dépasse guère 15 à 20 cm d'épaisseur, il est limité par le pétro-stérile.

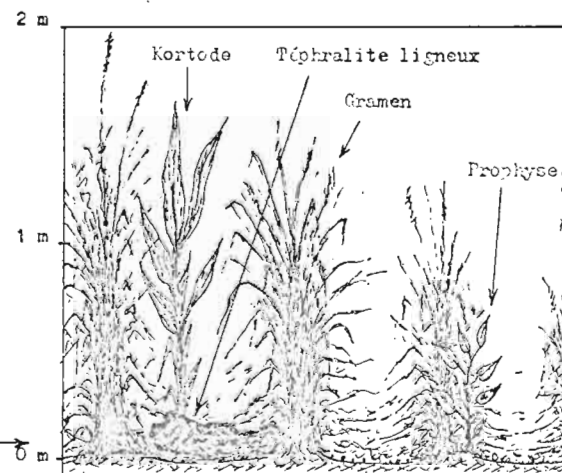
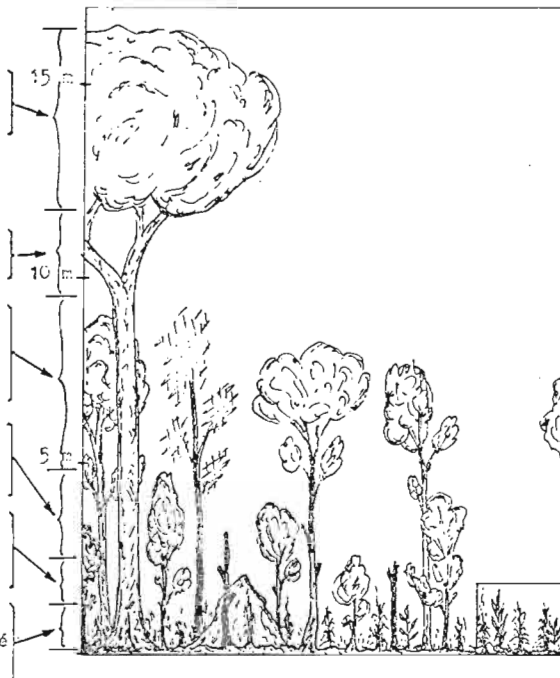
Apparemment ce sol ne semble donc pas favorable au stockage de l'eau.

2.1.2. Milieu cultivé (fig. 10)

Environ deux grands arbres par hectare n'ont pas été abattus lors du défrichement : ils servent d'ombrage. Actuellement, il ne subsiste pratiquement plus de trace des végétaux défrichés : disposés sur des andains, ils ont été défrichés.

La mise en culture a entraîné la disparition totale du métaplexion supérieur naturel. Il est remplacé par des anthro- et allo-métaplexions supérieurs particulièrement denses, ce qui fait dire aux paysans que leur terre présente déjà des "signes de fatigue". Trois mois après les récoltes, les allokokortodes et allogramen dominant très largement les anthrohypsonécrophytions foliacés qui restaient après les récoltes effectuées épi par épi. Nous remarquons que le riz avait un très mauvais tallage : seulement 1 à 3 tiges par pied, le plus fréquemment 2. Cette végétation forme une structure iso-stomaphique à isophique.

- Aérophyse phase paliphyséo (Stomaphique)
- Aérophyse stigne dendrigé
- Propaliphyse (isophique), stignes hypsonécrophytique et stylagés érécloïde Stomaphique
- Prophyse (isophique), stigne stylagés Iso-phique
- Aérophyse stignes prophysés, macro-/zeolitique, hypsonécrophytique et stylagés
- Gramen stignes kortodés, prophysés, téphralique et stylagés Iso-stomaphique



- Gramen stigne kortodé Stomaphique
- Gramen hori-érécloïde, phase gramagée, stignes kortodé et prophysés Iso-stomaphique
- Gramen néocrophytique foliacé hori-cloïde, phase gramagée, stigne téphralique Iso-stomaphique
- Microrelief iso-kécléline (dénivelée 4 cm)
 - .buttes: - V/zeolitiques
 - Porephyton foliacé (Aérophique)
 - V/zeolite (stigne)
 - .dépressions: - Epilite composé sableux discontinu
 - Epilite simple normale
 - Dermalite simple continu

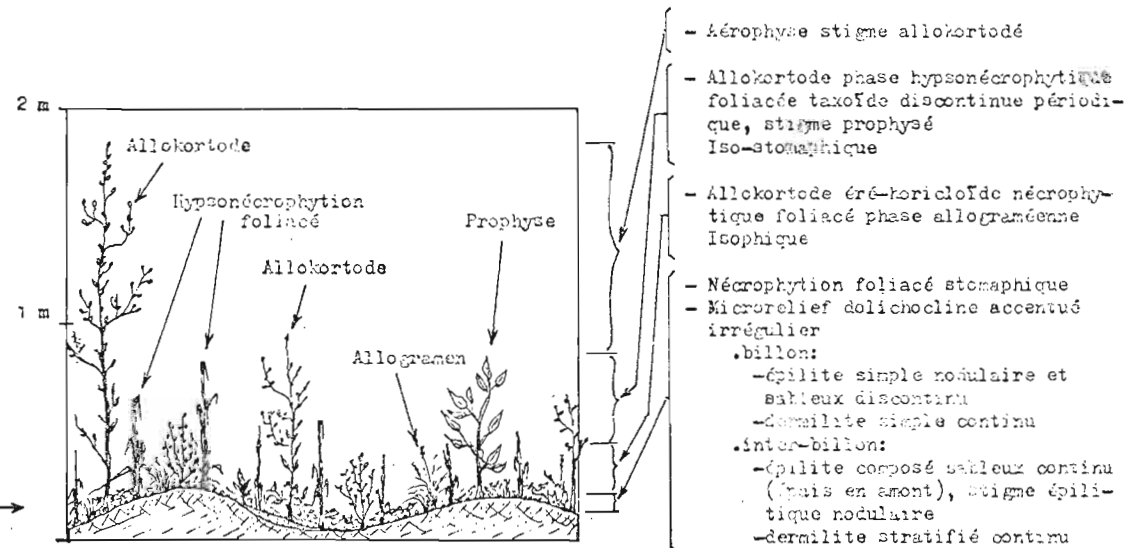
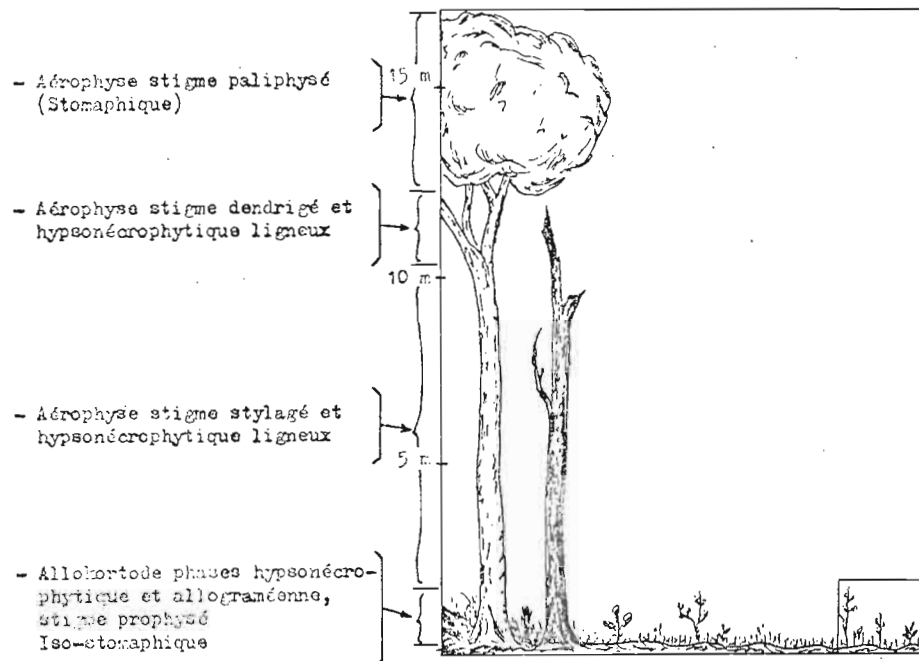
- Description: 10 février 1979, milieu de saison sèche, avant les feux de brousse.
- Savane arbustive et arborée dégradée.

Type de sol: BRACHY-APEXOL PLUS DÉVELOPPÉ SUR GRAVOLITE ET PÉTRO-STÉRITE (sur granite indifférencié)

Fig. 9 — LE MILIEU NATUREL DU COUPLE
BAMBADOUGOU (BAM 109)

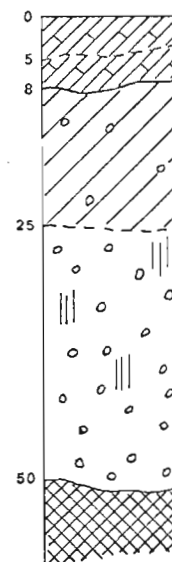


- 0 - 8/10 cm : Appumite brun (10 YR 5/3) rhizosphique, pauciclude, stigne gravelique, sablo-argileux.
- 8/10 - 25/28 cm : Structichron dyscrophe brun (7,5 YR 5/4) rhiza-rhizosphique, anérode, stignes gravelique et graveloux, sablo-argileux.
- 25/28 - 40/45 cm : Gravelite structichrome brun à brun foncé (7,5 YR 4/4) phases rhizosphique et pétro-stéritique, stigne graveloux.
- + de 40/45 cm : Pétro-stérite.



- Description: 10 février 1979, milieu de saison sèche, avant les feux de brousse.
- Défriché en 1976. Riz après une première culture de coton. 3 mois après la récolte.

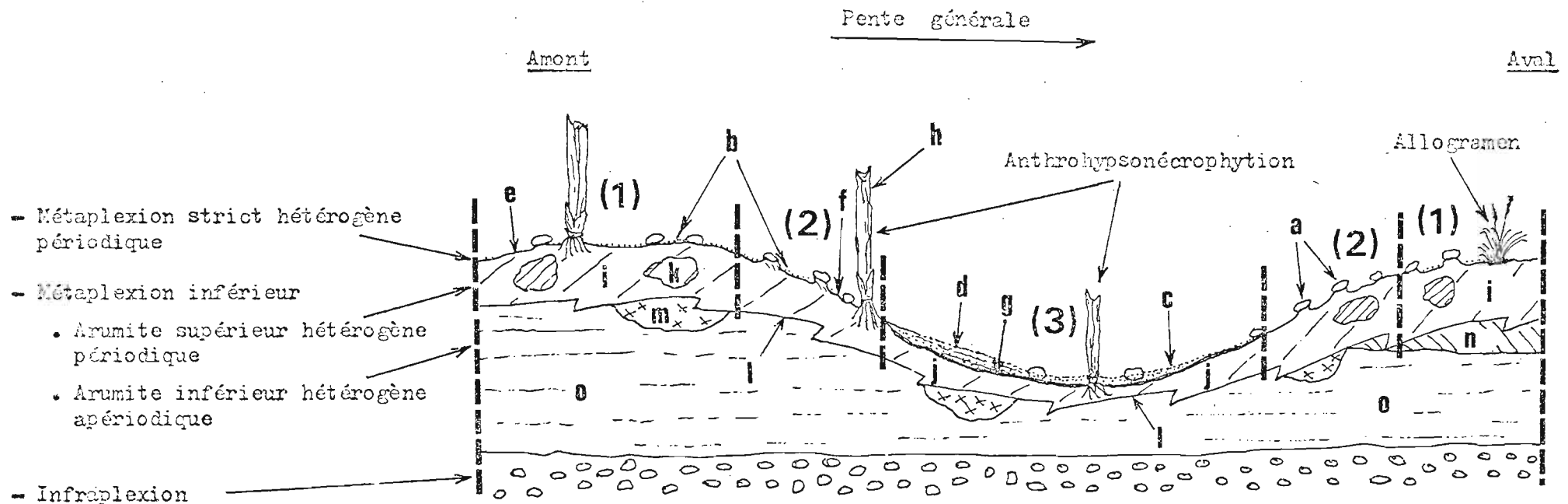
Fig. 10 — LE MILIEU CULTIVE DU COUPLE
BAMBADOUGOU (BAM 209)



- 0 - 3/5 cm :
Aramite supérieur brun grisâtre (10 YR 5/2) stigne rhizophique, psammoclude phase aroclode fin et moyen, cohésion très faible ou sans cohésion, sablo-faiblement argileux.
- 3/5 - 5/8 cm :
Aramite supérieur brun grisâtre (10 YR 5/2) stigne rhizophique, psammo-aroclude moyen et grossier, cohésion très faible, sablo-faiblement argileux.
- à 5/8 cm : Limite culturale avec lissages.
- 5/8 - 25/28 cm :
Aramite inférieur brun (7,5 YR 5/4), amérode, cohésion forte, sablo-argileux.
- 25/28 - 50/55 cm :
Gravolite structichrome brun à brun foncé (7,5 YR 4/4), stigne graveleux.
- + de 50/55 cm :
Péto-stérile.

Figure 11

COUPE SCHEMATIQUE MONTRANT L'ORGANISATION DES DIVERSES
HOULEXOLS DU MILIEU CULTIVE A BARBADOUCOU



a : Epilite nodulaire ferrugineux

b : Epilite simple sableux

c : Epilite composé sableux

d : Epilite composé sableux stratifié

e : Dermilite simple continu

f : Dermilite simple discontinu

g : Dermilite composé continu

h : Hypsonécrophytion déchaussé

i : Arumite de 8 cm) psammoclode phase aroclode

j : Arumite de 3 cm)

k : Volume aroclode (mottes)

l : Limite cultural avec lissages

m : Volume pauci-grumoclode et aroclode

n : Volume amérode humifère

o : Volume amérode

Le métaplexion strict a subi de profondes transformations sur la parcelle cultivée. Il porte encore les traces de la précédente culture de coton, faite apparemment sur des billons largement espacés, orientés selon les courbes de niveau.

Le nécrophytion stomaphique est plus dense qu'en milieu naturel : les allokokortodes ont dépassé le stade de floraison. Il n'y a plus de v/zoolite (dûs aux vers) et les épilites sont plus nombreux comparativement au milieu sous végétation naturelle. Ces épilites se répartissent régulièrement selon le schéma de la figure 11.

Nous remarquons qu'en haut de billon (1) les nodules ferrugineux coiffent une petite colonnette de terre et les plants de riz sont déchaussés, tandis que les allogramen à feuillage éré-horicloïde ne semblent guère affectés par cette forme d'érosion due aux gouttes de pluie. Dans les parties supérieures convexes des versants de billon (2), le dermilite est discontinu, érodés par petites plaques. A l'inter-billon (3), les atterrissements à l'amont forment une stratification en forme de croissant pouvant atteindre 4 à 5 cm d'épaisseur et une largeur totale d'une vingtaine de centimètres, tandis que les épilites composés sableux recouvrent en partie les épilites nodulaires.

Cette structure du métaplexion strict en milieu cultivé suggère une grande sensibilité du sol vis-à-vis des agents de l'érosion, et peut-être aussi une agressivité non moins forte du climat.

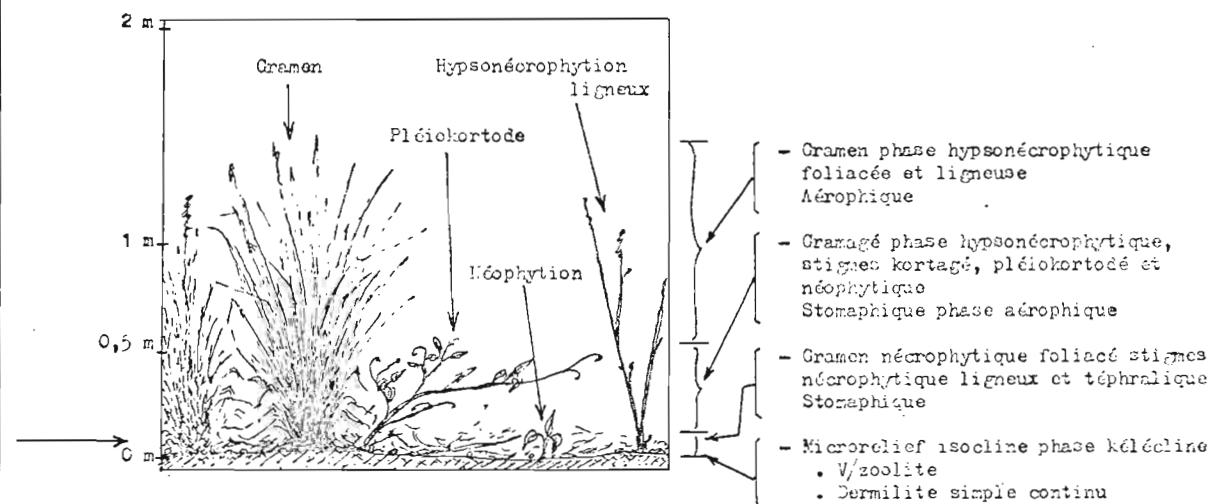
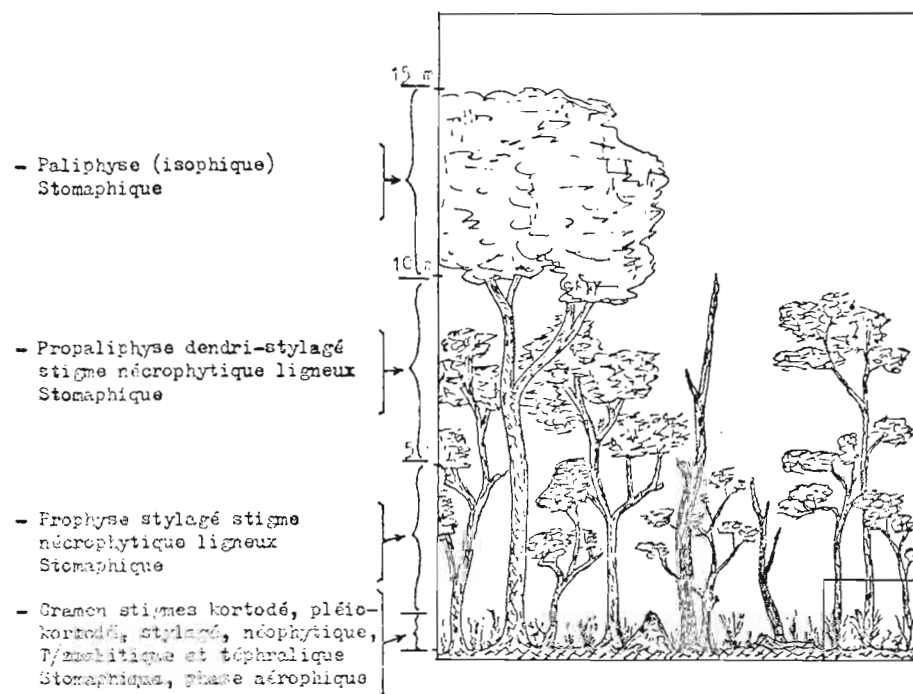
Le métaplexion inférieur et l'infraplexion ont également été profondément modifiés en milieu cultivé (fig. 10 et 11). Une limite culturelle avec lissages sépare l'arumite supérieur à très faible cohésion de l'arumite inférieur fortement tassé. L'enracinement est devenu insignifiant en-dessous de la limite culturelle.

2.2. GUINTEGUELA

2.2.1. Milieu naturel (fig. 12)

En milieu naturel, le supraplexion assure une couverture au sol plus dense qu'à Bambadougou .

Au mois de mars, le métaplexion supérieur est clairsemé et le gramen forme des touffes plus grandes mais aussi plus clairsemées. La végétation démarre cependant très vite au début de la saison des pluies et les clairières sont rapidement envahies par une végétation couvrant le sol à 100 % par endroits. Nous avons alors observé que sous les hautes herbes pousse un gramen paucicloïde (tige unique ou double par pied) assez dense, environ 10 cm de hauteur, né des graines tombées dernièrement sur le sol. Ce dernier hoplexol qui n'avait pas son équivalent à Bambadougou aurait-il existé aussi dense si la végétation avait été brûlée avant les pluies ?

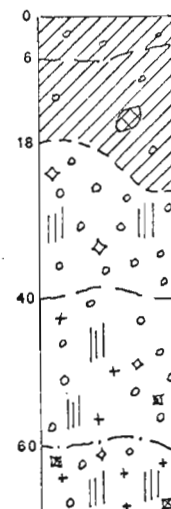


- Description: 22 mars 1979 , fin de saison sèche, une pluie
10 jours auparavant.

- Savane arborée, végétation non brûlée.

Type de sol: LEPTO-APEXOL SUR GRAVOLITE STRUCTICHROME A STIGNE
ALTERITIQUE ET GRAVO-STRUCTI-ALTERITE.
(sur granito-gneiss à hypersthène)

Fig. 12 — LE MILIEU NATUREL DU COUPLE
GUINTEGUELA (GUI 107)



- 0 - 5/6 cm :
Appumite supérieur rhizophique, brun foncé (7,5 YR 4/2),
nuciclude grossier et moyen, phase grumoclude très fin
nésoïde, phase zoonique, stigne gravelique, sablo-argileux.
- 5/6 - 18/23 cm :
Appumite inférieur rhizo-rhizagé, brun rougeâtre (5 YR 3/3),
pauci-angucloide, phase zoonique nésoïde, stignes gravelique
et pétro-stérétique, sablo-argileux.
- 18/23 - 40/45 cm :
Gravolite structichrome dyscrophie, rouge jaunâtre (5 YR 4/4),
stigne graveleux, argilo-sableux.
- 40/45 - 60/65 cm :
Gravolite structichrome phase altérétique, rouge jaunâtre
(5 YR 4/4), stignes graveleux et duri-altérétique, argileux.
- + de 60/65 cm :
Gravo-structi-altérite rouge (2,5 YR 4/6), améro-angucloide,
stignes graveleux et duri-altérétique, argileux.

Le métaplexion strict a la même organisation qu'à Bambadougou, à la différence qu'il n'y a pas d'épilite.

Le métaplexion inférieur est le siège d'une forte activité biologique. Sur 18 à 23 cm, son caractère humifère est marqué par une coloration foncée du matériau. De texture sablo-argileuse, il concentre à peu près toutes les racines des végétaux poussant sur le sol, ce qui accentue son contraste avec l'infraplexion gravolique rouge jaunâtre, devenant rouge et argileux en profondeur.

2.2.2. Milieu cultivé (fig. 13)

Le bloc de culture de Guinteguela a été installé en 1976 à la suite d'une prospection pédologique faite par DURLIN (1975). La grande majorité des surfaces cartographiées sont classées comme étant de bons sols.

La végétation naturelle a été totalement défrichée à l'installation du bloc de cultures. Les andains espacés de 50 mètres sont orientés perpendiculairement au tracé de notre toposéquence. Les pentes latérales étant plus fortes (fig. 3), ces andains ne devraient pas jouer un grand rôle vis-à-vis des eaux ruisselant en surface.

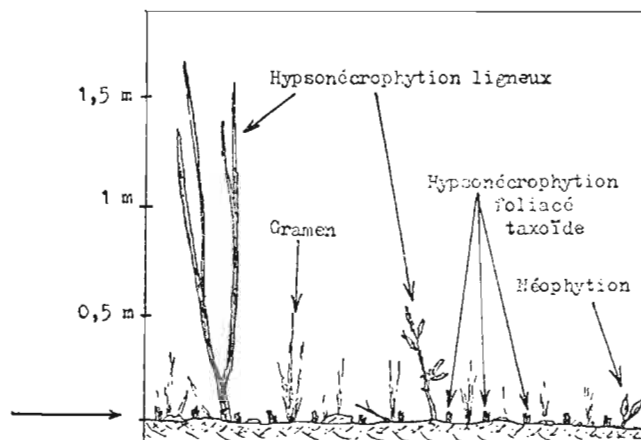
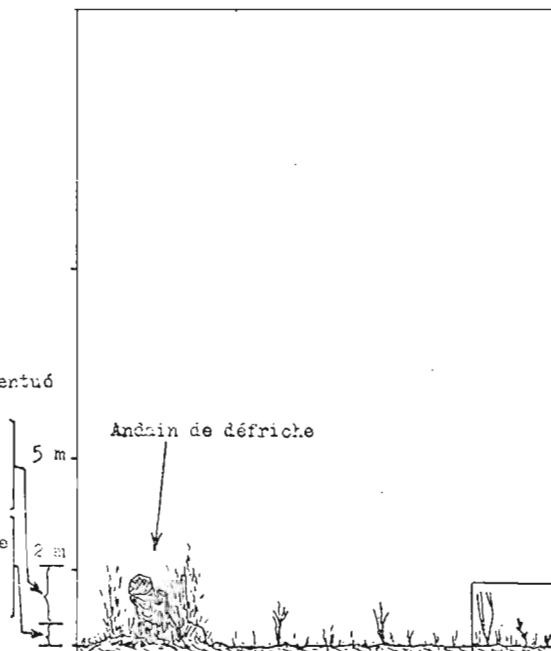
Un mois après le brûlis, on observe déjà un allogramme de 30 à 40 cm dans la parcelle cultivée. Cette végétation a sans doute été activée par une pluie tombée 10 jours auparavant, toutefois la reprise de la végétation nous semble là aussi très rapide.

Les modifications subies par le métaplexion strict à la suite de la mise en culture ne sont pas aussi marquées qu'à Bambadougou. Le microrelief dolichocline peu accentué irrégulier est sans organisation précise. Les éléments nouveaux seraient l'apparition d'un micro- et méso-épilite nodulaire discontinu, et d'un réseau de fentes de dessiccation observé sur une aire voisine du profil étudié. Une rigole peu profonde et évasée traverse le champ suivant sa plus grande pente, et témoigne d'un ruissellement actif. En amont de la toposéquence où les pentes latérales sont plus fortes, ces voies d'écoulement forment de petites ravines de 10 à 15 cm de profondeur.

Dans le métaplexion inférieur, les traces des travaux culturaux sont aussi discrètes. La texture qui était nuciclude en milieu naturel devient pauciclude. Le passage entre les deux arumites supérieurs n'est pas brutal. Des stigmes de téphralite et d'antrhopogon observés dans cet hoplexol sont les autres indices de sa désorganisation. La limite culturelle n'est pas apparente.

L'infraplexion semble tassée, mais la teneur en éléments grossiers du gravolite est plus élevée qu'en milieu naturel.

- Microrelief dolichoclinal accentué très espacé, taxoïde continu
- .sur andain: néophytion ligneux téphralique, phase allogrammée isochique
- .terrain de culture: aérophyse phases allogrammée et hypsonécrophytique foliacée et ligneuse



- Aérophyse stigne hypsonécrophytique ligneux
- Aérophyse phase allogrammée stigne hypsonécrophytique ligneux et foliacé Aérophyse
- Aérophyse phases allogrammée et hypsonécrophytique foliacée taxoïde discontinu périodique, stignes téphralique et néophytique Aérophyse
- Microrelief dolichoclinal peu accentué irrégulier
 - . micro- et méso-épilite simple
 - . nodulaire discontinu
 - . dermite simple continu

- Description: 22 mars 1979, fin de saison sèche, une pluie 10 jours auparavant.
- Défriché en 1976. 2ème campagne de riz. 4 mois après récolte. Labour prévu en juin. Parcelle brûlée fin février.

Fig. 13 — LE MILIEU CULTIVE DU COUPLE
GUINTEGUELA (GUI 207)



- 0 - 5/7 cm :
Arumite supérieur brun rougeâtre (5 YR 4/3), stigne téphralique, pauciclude moyen, phase grumoclude très fine nésoïde, stignes gravolique et téphralique, cohésion faible, sablo-argileux.
- 5/7 - 15/22 cm :
Arumite supérieur brun rougeâtre (5 YR 4/3), pauciclude grossier, stignes gravolique, téphralique, anthrohypogrammé et zonique nésoïde, cohésion moyenne, sablo-argileux.
- 15/22 - 37/40 cm :
Arumite inférieur: Gravelite phase structichrone dysocrophe, rouge jaunâtre (5 YR 4/4), stigne graveleux, argilo-sableux.
- 37/40 - 60/65 cm :
Gravo-structichron altéritique, rouge jaunâtre (5 YR 5/8), stignes graveleux et duri-altéritique, argileux.
- + de 60/65 cm :
Structi-altérite rouge (2,5 YR 4/6), phases gravolique et duri-altéritique, stigne graveleux, argileux.

2.3. SOULA

2.3.1. Milieu naturel (fig.14)

Le supraplexion est un aérophyse qui s'éclaircit considérablement aux abords des affleurements de stérîte (structichron moins profond).

Trois mois après les feux de brousse, le métaplexion supérieur est un gramen de 60 cm environ, de structure isophrisque. Cette végétation qui a poussé en pleine saison sèche est remarquablement dense. Notons qu'elle atteignait plus de 2 mètres de hauteur en janvier.

Au niveau du métaplexion strict, le microrelief est isokélécline comme à Bambadougou. Le sol de Soula présente cependant certaines particularités :

- . le nécrophytion posé sur le sol est rapidement mangé par les termites
- . le micro- et méso-épilite est de nature argileuse, et de forme polyédrique ou cubique. Il provient de la désagrégation des v/zoolites.

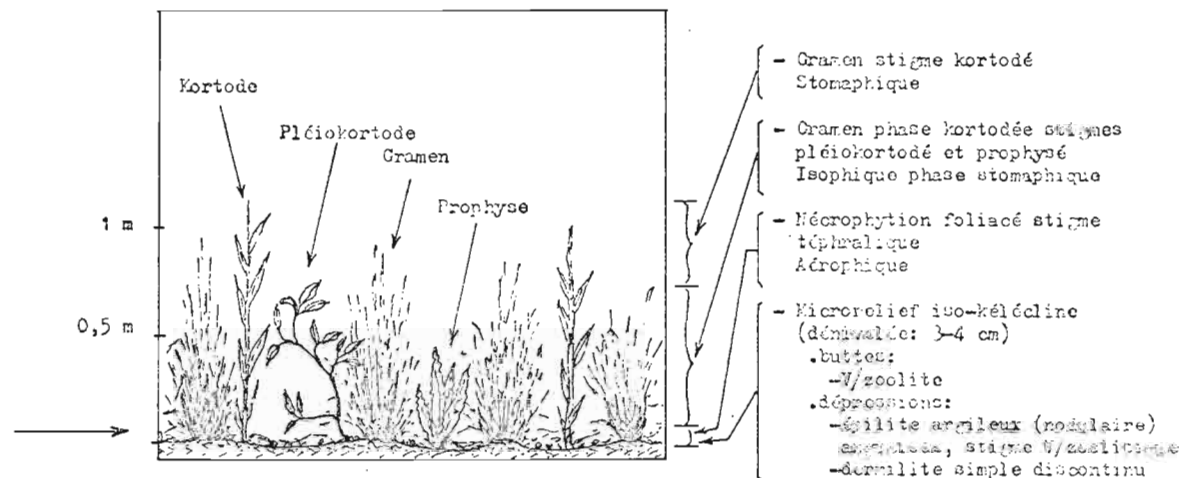
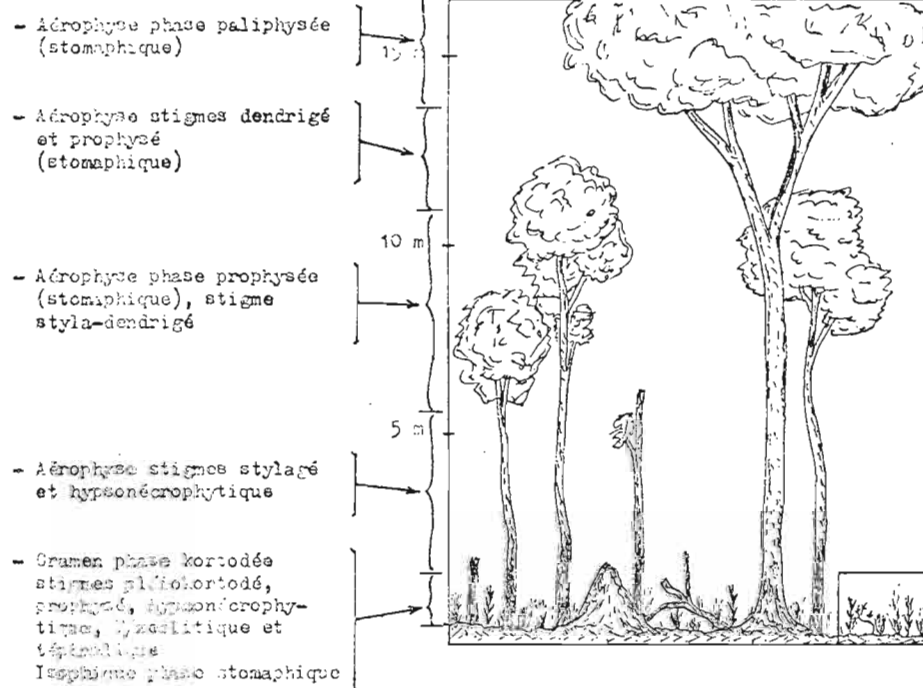
Nous avons constaté par un test simple fait au laboratoire (Annexe 5) que les v/zoolites de Soula se désagrègent par divisions successives des éléments formés tout en gardant une forme anguleuse. La classe d'agrégats 2 à 3,15 mm formés après alternance de 10 humidifications et dessiccations des v/zoolites est la plus importante. Elle correspond aux dimensions des épilites les plus fréquents à la surface du sol en milieu naturel. Ces zoolites-épilites sont durs et s'écrasent difficilement.

L'appumite est bien structuré (nuciclode), poreux, avec de nombreuses racines. Le structichron est profond (1,5 à 2 m, quelquefois plus), rouge, de structure amérode à tendance aliatode. Il est peu cohérent, léger et friable malgré une texture franchement argileuse. A l'état sec, une motte dégagée de cet horizon s'écrase facilement dans la main en donnant des particules fines poussiéreuses. Ce caractère friable est d'ailleurs mis à profit par les animaux fouisseurs (lapins et agoutis) qui ont creusé de nombreux terriers dans ce type de sol.

2.3.2. Milieu cultivé (fig.15)

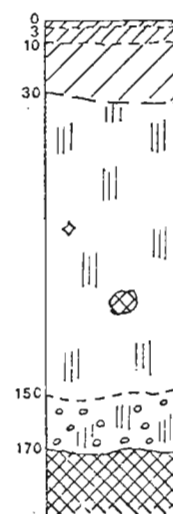
Quelques grands arbres ont été conservés dans le bloc de culture. Les andains de défriche sont disposés en travers de la pente qui est assez forte sur tout le versant.

Les plants d'une dizaine de centimètres de hauteur qui forment le métaplexion supérieur actuel ne sont pas apparus dans le mois qui a suivi le pulvérisage du champ. Sans connaître la quantité de graines fournies par la culture précédente, nous ne pouvons cependant porter un avis quelconque sur le petit nombre d'anthronéokortode observé sur le moment. De plus la saison de pluie venait de commencer...



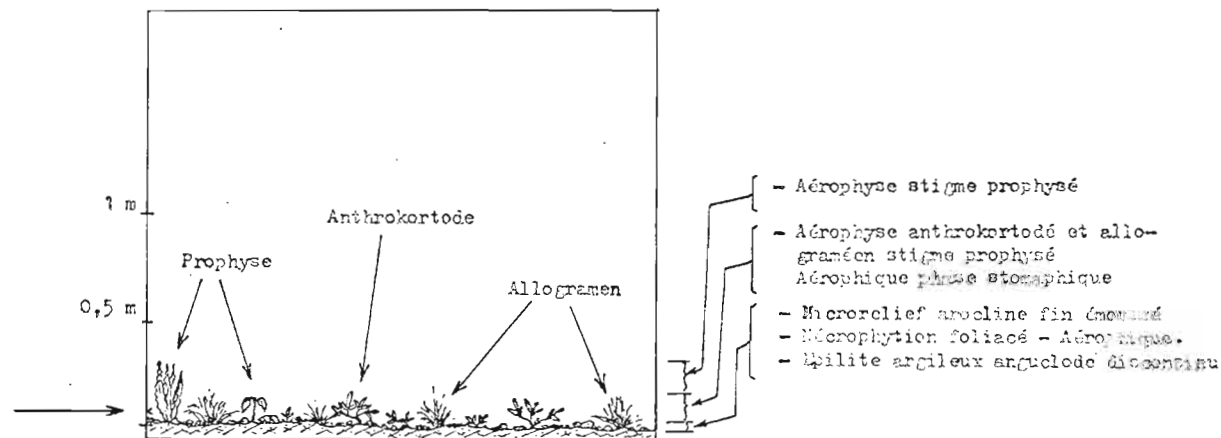
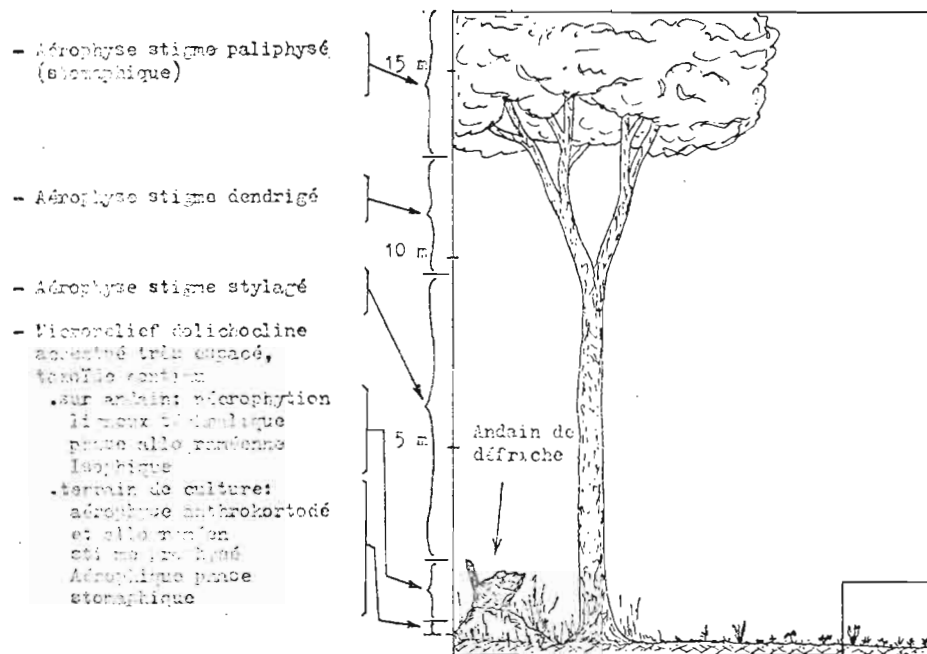
- Description: 5 juin 1979, début de saison des pluies.
- Savane arborée claire, végétation brûlée en février.

Type de sol: ORTHO-APLIXOL SUR GRAVOLITE ET PETRO-STERITE.
(sur dolérite)



- 0 - 3 cm : Appumite brun rougeâtre foncé (2,5 YR 3/4), rhizophique, nucioclode moyen et fin, argileux.
- 3 - 10 cm : Appumite brun rougeâtre foncé (2,5 YR 3/4), rhizo-rhizagé, nucioclode grossier et moyen, phase grunoclode très fin nésoïde, argileux.
- 10 - 30/35 cm : Structichron dyscrophe brun rougeâtre (2,5 YR 4/4), stigme rhizophique, amérode, phase humique nésoïde, argileux.
- 30/35 - 150/155 cm : Structichron rouge (2,5 YR 4/6), stigme rhizophique, amérode à tendance aliatode, stigmes graveleux et pétro-stérétique, argileux.
- 150/155 - 170/175 cm : Gravelite structichrome rouge (2,5 YR 4/6).
- + de 170/175 cm : Pétro-stérétique.

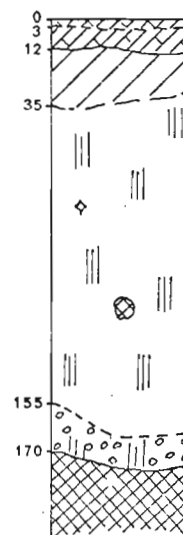
Fig. 14 — LE MILIEU NATUREL DU COUPLE
SOULA (SOU 104)



- Description: 5 juin 1979, Début de saison des pluies.

- Défriché en 1975. Cultures: 2 campagnes de riz (récoltes pratiquement nulles à cause des termites?) suivi de Stylosanthes (pâturé). Repousse 2^{ème} année du Stylosanthes. 1 mois après pulvérisage, sans labour ni ressemis.

Fig. 15 — LE MILIEU CULTIVE DU COUPLE SOULA (SOU 204)



0 - 3 cm : Arumite supérieur brun rougeâtre foncé (2,5 YR 3/4), aréolode très fin, phase nécrophytique foliacée et ligneuse, stignes épilitique argileux angulode et téphralique, sans cohésion, argileux.

3 - 12 cm : Arumite supérieur brun rougeâtre foncé (2,5 YR 3/4), aréolode très fin et grossier, phase anthrorhizagée, stigne anthrohypokortagé, sans cohésion ou cohésion faible à moyenne, argileux.

à 12 cm : Limite culturelle avec lissages.

12 - 30/35 cm : Arumite inférieur dyscrophe, brun rougeâtre (2,5 YR 4/4), amérose, cohésion forte.

30/35 - 155/160 cm : Structichron rouge (2,5 YR 4/6), amérose à tendance aliatode, stigne graveleux et pétro-stéritique, argileux.

155/160 - 170/180 cm : Gravelite structichrome rouge (2,5 YR 4/6).

+ de 170/180 cm : Pétro-stérile.

Le métaplexion strict et le métaplexion supérieur sont pulvérisés à l'excès par les travaux cultureux. A l'état sec, l'arumite est meuble et sans cohésion sur les 3 premiers centimètres. Cette structure est conservée longtemps malgré la texture argileuse du matériau. Après une série d'averses (observation après simulation de pluies), il se forme à la surface du sol un dermilite composé argileux, continu et fragile.

A 12 cm de profondeur se trouve une limite culturelle lissée. En-dessous l'arumite inférieur est légèrement tassé.

L'infraplexion ne semble pas avoir été touché directement par les travaux. La réduction de l'enracinement constatée sur toute la hauteur du profil est la conséquence de la suppression du supraplexion et du métaplexion supérieur naturels.

2.4. CONCLUSION

Les diagnostics typologiques montrent de façon objective des différences initiales d'organisation et de comportement très nettes entre les trois sites. La profondeur du sol de Soula et les faibles transformations observées à la suite de la mise en culture semblent devoir lui conférer des qualités que n'auraient pas les sols de Bambadougou et de Guinteguela.

Nous verrons plus loin la signification de ces traits morphologiques et leur concordance avec les tests dynamiques.

3. LES PROPRIETES PHYSIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DES SOLS

Nous présentons dans ce chapitre les variations avec la mise en culture des propriétés physiques et hydrodynamiques des sols.

Les analyses de laboratoire ont été faites sous la direction de M. GOUZY avec les méthodes couramment utilisées au Laboratoire Central d'Analyses de l'ORSTOM-Adiopodoumé (GOUZY, 1973). Un rappel succinct des méthodes d'analyses moins courantes et des buts de ces manipulations sera donné en début des études correspondantes. L'annexe n° 2 rassemble les résultats de ces analyses.

3.1. GRANULOMETRIE

Cette détermination a été faite au laboratoire.

Les résultats obtenus sur les 3 couples de sols sont représentés sur la figure n° 16.

- Bambadougou : la texture est sablo-faiblement argileuse avec 12 à 13% d'argile. Les analyses indiquent une teneur en argile légèrement plus faible du sol cultivé par rapport au sol non cultivé. Dans les 8 premiers centimètres, cette différence est de l'ordre de 2%. Nous avons vu qu'il se forme en quelques mois une quantité assez importante d'épilites à la surface du sol cultivé, mais cela suffit-il à mettre cette perte en éléments fins sur le compte d'un appauvrissement en argile dû à la mise en culture ?
- Guinteguela : il n'apparaît pas de variation de la granulométrie avec la mise en culture. En milieu cultivé où l'altérite est plus proche de la surface, le profil paraît plus argileux. La texture moyenne de l'appumite est sablo-argileuse avec 21 à 22% d'argile.
- Soula : la texture argilo-sableuse de l'appumite devient franchement argileuse dans le structichron dyscrophe. Les travaux culturaux ont en partie mélangé ces deux hoplexols, conférant une texture plus argileuse à l'arumite.
- Les teneurs en éléments grossiers du gravolite sont de l'ordre de 70% du poids total, sauf dans le sol cultivé de Guinteguela où ce taux atteint 85%. Ces valeurs seront utiles pour déterminer les réserves hydriques du sol.

Fig. 16

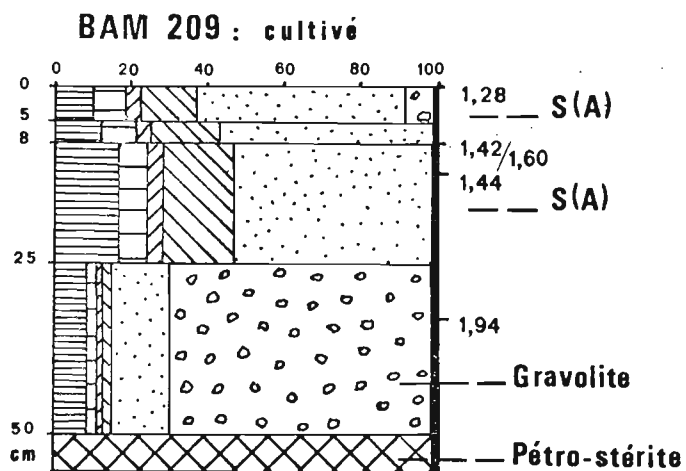
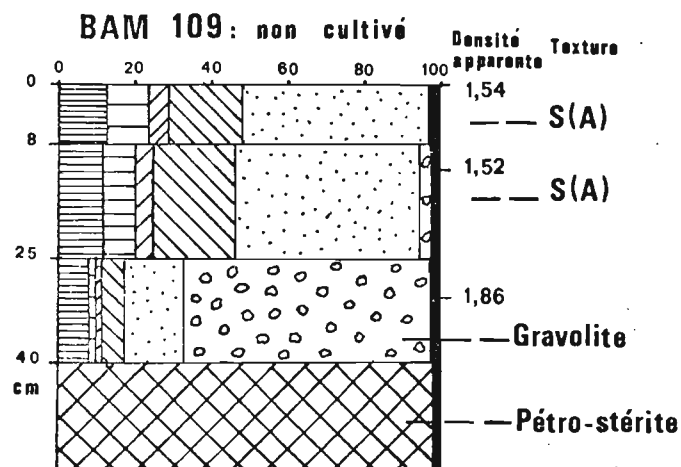
PROFILS GRANULOMETRIQUES DES TROIS COUPES ET DENSITES APPARENTES MESUREES SUR LE TERRAIN.

BAMBADOUGOU

sur granite indifférencié

BRACHY-APEXOL PEU DEVELOPPE SUR

GRAVOLITE STRUCTICHROME ET PETRO-STERITE

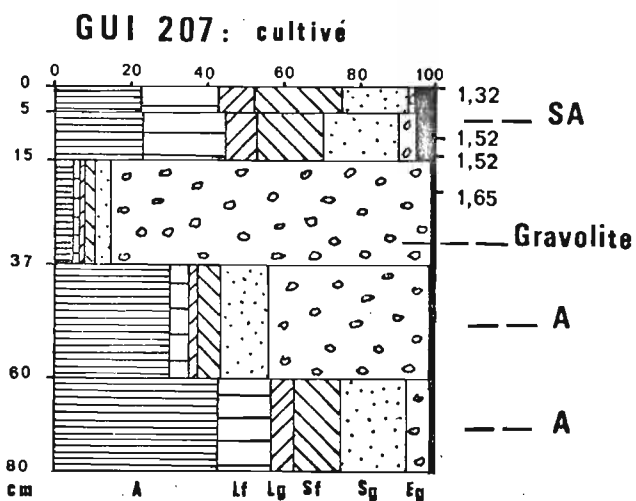
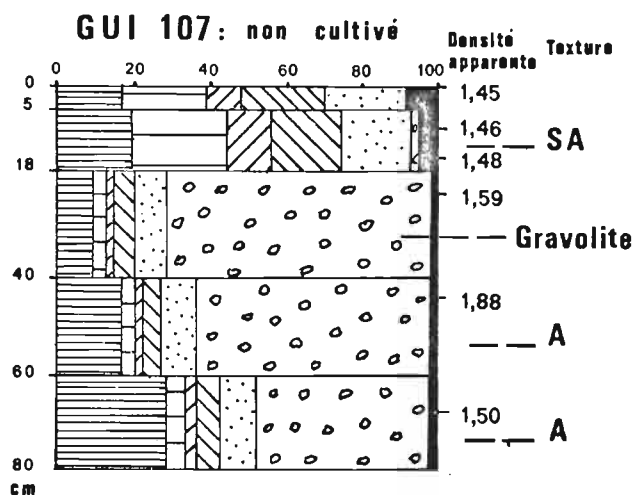


GUINTEGUELA

sur granito-gneiss à hypersthène

LEPTO-APEXOL SUR GRAVOLITE STRUCTICHROME

ET GRAVO-STRUCTI-ALTERITE

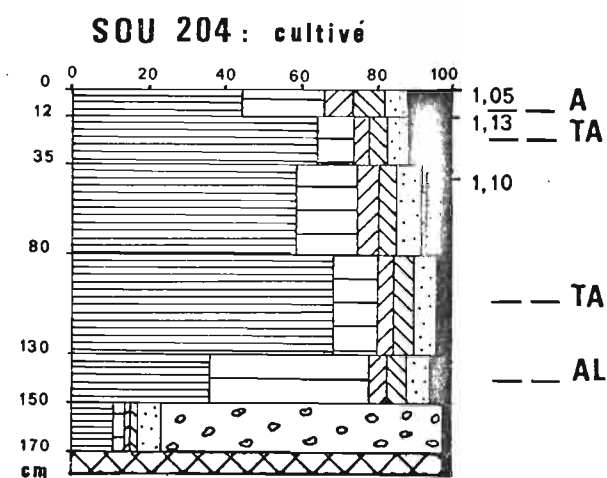
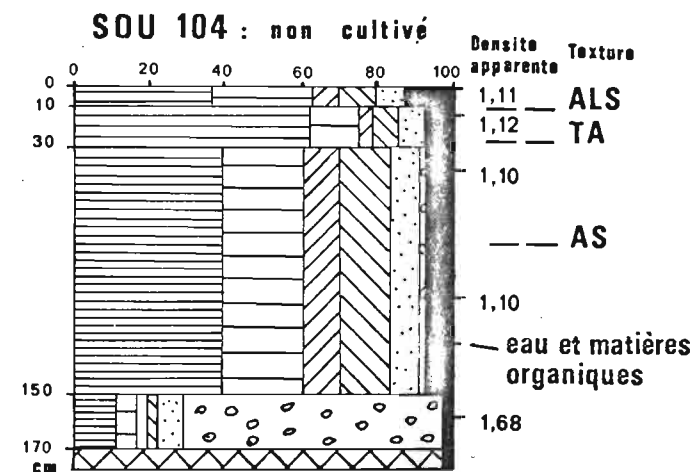


SOULA

sur dolérite

ORTHO-APEXOL SUR GRAVOLITE

ET PETRO-STERITE



3.2. DENSITE APPARENTE, DENSITE REELLE ET POROSITE

La mesure de la densité apparente et de la densité réelle d'un sol permet de calculer sa porosité et d'évaluer ainsi le volume offert à la circulation et au stockage des fluides (eau et air notamment).

Pour la mesure sur le terrain des densités apparentes, nous avons utilisé la méthode au cylindre sur les horizons dont la charge en éléments grossiers n'est pas trop élevée. L'opération consiste à enfoncer dans le sol, sans tassement, un cylindre tranchant, à l'aide duquel on prélève un volume connu d'échantillon (250 cm³). Cet échantillon séché puis pesé permet d'obtenir immédiatement la valeur de la densité apparente de l'échantillon.

Pour les gravolites, nous avons utilisé la méthode au sable (à Bambadougou) et la méthode au densitomètre à membrane (à Guinteguela). Ces deux méthodes diffèrent de la précédente par le fait qu'on mesure après coup le volume de la cavité ayant servi au prélèvement de l'échantillon.

Les densités apparentes des mottes sèches ont été mesurées au laboratoire après enrobage à la paraffine.

La densité réelle est mesurée sur poudre au pycnomètre.

3.2.1. Densités apparentes

Les densités apparentes mesurées sur le terrain (au total 160 mesures) sont notées en face des horizons correspondants sur la figure 16. Ce sont les valeurs médianes de 6 mesures. Nous remarquons que :

- . A Bambadougou et à Guinteguela, les densités apparentes augmentent avec la profondeur. Ceci est en corrélation avec l'accroissement des teneurs en éléments grossiers. Les valeurs obtenues passent de 1,45 - 1,50 à 1,90.
- . La mise en culture a entraîné la diminution de la densité apparente sur les horizons superficiels de ces 2 sols (d.a = 1,30). Une tendance à l'augmentation est par contre observée pour l'horizon sous-jacent à l'arumite.
- . A Bambadougou, les volumes amérodés de l'arumite inférieur sont plus denses (d.a = 1,60) que les volumes aroclodes (d.a = 1,42).
- . Le sol de Soula est remarquablement homogène et léger (d.a = 1,1) pour l'ensemble des horizons des deux profils formant le couple. Le travail du sol n'a pratiquement pas modifié la densité apparente de ce sol qui est naturellement friable et très poreux.

Nous avons mesuré la densité apparente des éléments grossiers avec 2 méthodes différentes (cf. annexe 3) : par enrobage à la paraffine et par immersion dans l'eau. Les résultats obtenus figurent sur le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Densités et porosités des éléments minéraux.

Echantillon	densité apparente	densité réelle	porosité %
BAM 1093 (25-40 cm)	2,52	2,98	15
GUI 1072 (18-40 cm)	2,44	2,79	12
GUI 1073 (40-60 cm)	2,41	2,76	13
GUI 1074 (60-80 cm) lourds	2,33	2,74	15
GUI 1074 (60-80 cm) légers	2,13	2,74	22
SOU 2044 (150-170 cm)	1,82	2,73	33

Il apparaît que les nodules ferrugineux de Bambadougou sont les plus lourds, tandis que ceux de Guinteguëla sont de plus en plus légers en profondeur (débris d'altérite ferruginisés). Le gravolite de Soula est le moins dense : de nature argilo-ferrique, ces nodules sont visiblement poreux (pores très fins tubulaires).

3.2.2. Densités réelles

Les densités réelles sont respectivement de 2,52 et 2,57 pour les horizons superficiels des sols de Bambadougou et de Guinteguëla. Elles sont légèrement moins élevées en milieu naturel où les teneurs plus élevées en matière organique semblent la diminuer.

La terre fine des horizons gravoliques est moins dense à Bambadougou (d.r \approx 2,50) malgré une texture plus sableuse qu'à Guinteguëla (d.r \approx 2,68), probablement à cause des teneurs en fer moins élevées (cf. Annexe 2).

A Soula le matériau est caractérisé par l'abondance du fer (cf. 4.5.), décelable par sa couleur rouge dans tout le profil. Sa densité réelle varie de 2,75 à 2,85.

3.2.3. Porosité

Les porosités des horizons superficiels sont consignées dans le tableau suivant. Elles ont été calculées à partir des densités apparentes mesurées au cylindre (médiane de 6 mesures) puis sur mottes (médiane de 3 mesures), et les densités réelles des éléments fins.

Tableau 2 : Porosités des horizons superficiels(en %)

Echantillon		Porosité cylindre	Porosité motte	Macroporosité "fissurale"	Macroporosité totale(✕✕)
BAM 0-8 cm	Naturel	38	-	-	16
	Cultivé	49	40	9	32
BAM 12-18 cm	Naturel	40	36	4	20
	Cultivé	43	34	9	23
GUI 0-6 cm	Naturel	43	-	-	11
	Cultivé	49	46	3	20
SOU 0-10 cm	Naturel	59	50	9	25
	Cultivé	59	58	1	30
			47(✕)	12	
SOU 10-25 cm	Naturel	59	57	2	24
	Cultivé	57	51	6	22

(✕) : volume amérode, très peu fréquent dans l'arumite supérieur

(✕✕) : P. cylindre - microporosité (humidité à capacité au champ, paragraphe 3.4.).

Nous pouvons faire les remarques suivantes :

- . En milieu naturel, les horizons superficiels de Bambadougou sont les moins poreux (38%) suivis de Guinteguela (43%) et de Soula (59%). Ces valeurs seraient à rapprocher des formes structurales observées sur le terrain.
- . A Bambadougou, le structichron dyscrophe semble plus poreux que l'appumite.
- . Le travail du sol a entraîné une augmentation de 11% à la porosité du sol de Bambadougou, et de 6% à celui de Guinteguela. Leurs porosités égalent alors 49%. Cet effet d'ameublissement semble se manifester dans l'arumite inférieur de Bambadougou qui passe d'une porosité de 40% à 43%.

Le sol de Soula est naturellement très poreux. L'arumite supérieur n'a pas été affecté par le travail du sol sur le plan de la porosité. Nous craignons cependant que le sol ne soit déjà trop poreux ou "creux" pour assurer une bonne germination, surtout pour les petites semences (cas du *Stylosanthes*).

Un léger tassement au niveau de l'arumite inférieur se manifeste par une structure amérode d'une cohésion forte à l'état sec.

- . Pour les porosités des mottes en milieu cultivé : comparées avec les valeurs trouvées en milieu naturel, elles mesurent le tassement subi par ces volumes isolés. Nous remarquons ainsi que le tassement relatif des volumes amérodés de l'arumite inférieur est de 2 fois plus élevé à Soula qu'à Bambadougou.

Si nous considérons la différence entre porosité-cylindre et porosité-motte comme étant la valeur d'une "macroporosité fissurale", il ressort que cette forme de porosité est élevée dans l'arumite de Soula. Elle serait alors entièrement détruite par le travail du sol pour simplement se transformer en pores plus fins puisque la porosité est la même sur sol cultivé et sur sol non cultivé. Ces données nous manquent pour les sols de Bambadougou et de Guinteguela en milieu naturel, mais en milieu cultivé, les valeurs trouvées confirment l'ameublissement plus poussé du sol de Bambadougou (porosité "fissurale" 9%) par rapport à celui de Guinteguela (3% seulement).

- . Nous avons calculé la porosité des infraplexions gravoliques à l'annexe 3. Les valeurs trouvées sont de l'ordre de 35 à 40% du volume de sol, dont 5 à 7% seraient associés aux éléments grossiers, sauf à Soula où les éléments fins et les éléments grossiers se partagent moitié pour moitié la porosité du gravolite.
- . Le structichron de Soula est aussi poreux que les horizons de surface. Des porosités de 60 à 61% sont observées à différentes profondeurs de cet hoplexol homogène.

3.3. PERMEABILITE DES SOLS (Méthode de Pioger)

Le but de la méthode Pioger est d'estimer la vitesse d'infiltration d'une lame d'eau connue. Il s'agit essentiellement d'un test comparatif simple et rapide permettant une première approche de la dynamique de l'eau saturante au sein d'un sol.

Cette méthode consiste à enfoncer dans le sol un cylindre de 100 cm² de surface, autour duquel est disposé un anneau de garde dix fois plus grand. Dans ces deux cylindres, on verse simultanément une charge initiale de 10 cm d'eau qu'on laisse s'infiltrer en maintenant en permanence un niveau égal de part et d'autre (réglage avec le niveau dans l'anneau de garde). La lame d'eau s'infiltré généralement vite au début ; elle atteint après un temps plus ou moins long un régime d'infiltration stable qui correspond à la vitesse d'infiltration recherchée (AUDRY et al., 1973).

Environ 200 mesures ont permis d'étudier plusieurs situations pouvant influencer les vitesses d'infiltration d'eau, notamment :

- les effets de la végétation (infiltration autour d'une touffe d'herbe ou d'un plant de riz)
- l'effet de l'épaisseur de l'arumite (effet billon à Bambadougou)
- l'effet des dermilites (colmatage des cylindres), et enfin
- l'effet des fonds de labour lissés.

Les valeurs trouvées ont été regroupées sur la fig. 17. Ce sont les médianes de 6 à 9 mesures. Nous remarquerons qu'elles sont généralement inférieures à la moyenne arithmétique des mesures, ce qui traduit l'existence de fortes valeurs dues à la présence de gros pores assurant un drainage rapide.

3.3.1. Milieu naturel

- . En surface : A Bambadougou et à Guinteguela, la perméabilité sur sol nu (avec dermite) est de 16 et 18 cm/h. Elle est plus élevée à Soula où elle atteint 75 cm/h.
- . Effet de la végétation : Sur touffe d'herbe, ces perméabilités sont trois fois plus fortes : rôle du grumo-hoplexol et absence de dermite.
- . Horizons sous-jacents : A Bambadougou, la perméabilité du structichron dyscrophe est trois fois plus élevée que celle de l'appumite, ce qui pourrait s'expliquer par une porosité plus élevée dans le structichron dyscrophe, mais surtout par un ralentissement de l'infiltration en surface dû au dermite continu.

Dans l'infraplexion la perméabilité reste assez élevée à Bambadougou (20 cm/h) tandis qu'elle ne dépasse pas 8 cm/h à Guinteguela. Ces différences correspondent assez bien aux densités racinaires observées dans ces profils.

A Soula, la perméabilité du structichron est de l'ordre de 10 à 14 cm/h. Ces valeurs sont faibles si l'on tient compte de la porosité élevée et cet hoplexol. Y-aurait-il réduction des infiltrations par destruction du sol puis colmatage des pores? Après chaque mesure faite au niveau du structichron, nous avons remarqué que la surface du sol est assez fortement modifiée, sans doute par effrondement de la structure lors de la mise en eau.

3.3.2. Milieu cultivé

- . En surface : La perméabilité est multipliée par 3 ou 4 par rapport aux valeurs trouvées en milieu naturel, sauf à Soula où nous retrouvons les mêmes vitesses d'infiltration : 78 cm/h. De même que la mise en culture n'a pas modifié la densité apparente et la porosité de surface, de même la perméabilité ne se trouve pas affectée à Soula.

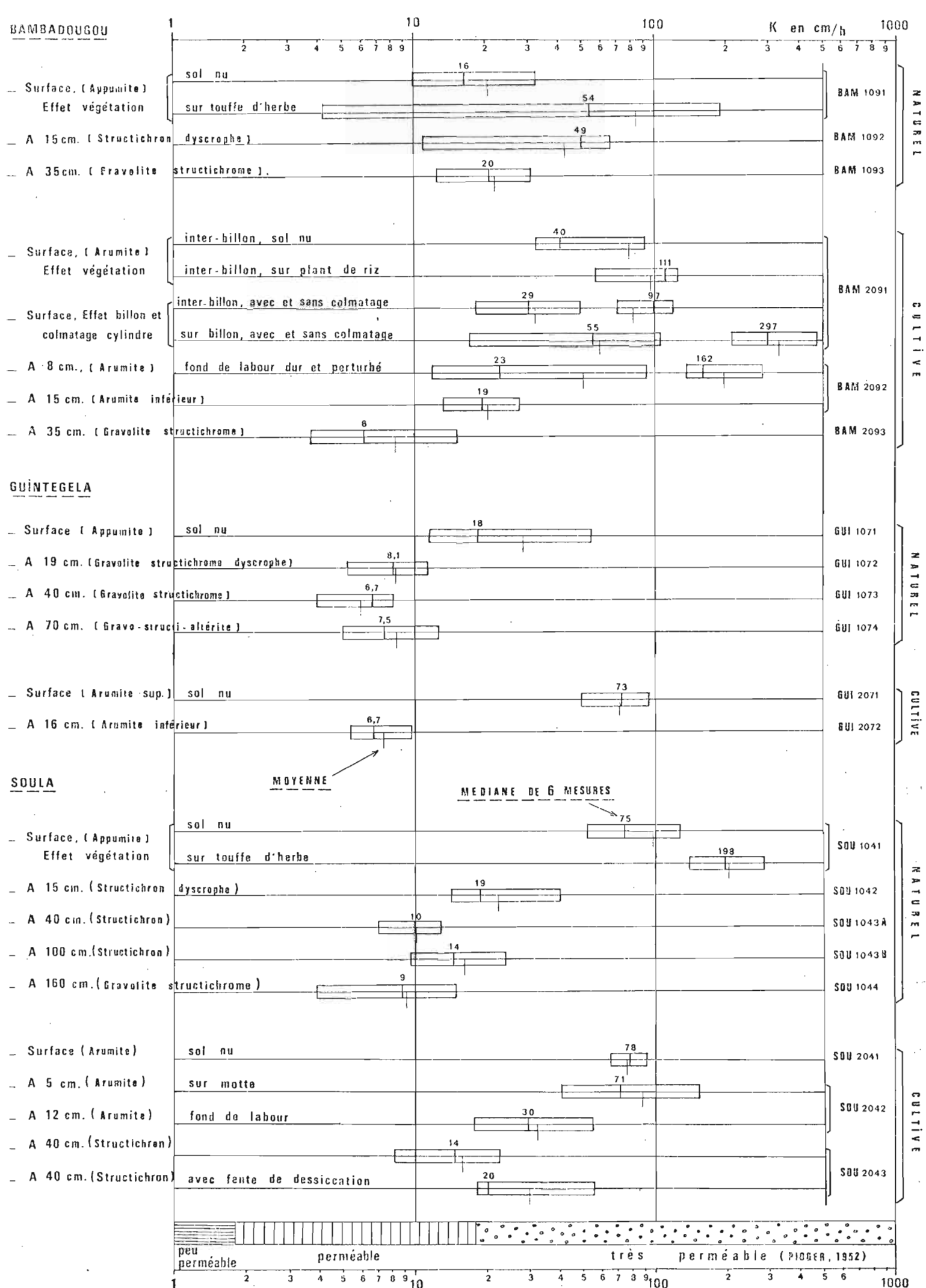


Fig. 17 — PERMEABILITES MESUREES SUR LE TERRAIN (Méthode PIOGER)

- . Effet de la végétation : Il a été mesuré à Bambadougou en positionnant le cylindre de mesure autour d'un plant de riz. Nous observons comme en milieu naturel avec les touffes d'herbes, une augmentation des infiltrations qui, dans ce cas, passent de 40 à 110 cm/h.
 - . Effet de l'épaisseur de l'arumite : Les infiltrations sont de 55 cm/h pour un arumite de 8 cm, et de 29 cm/h pour un arumite de 3 à 4 cm. L'épaisseur de sol rendu meuble par les travaux culturaux intervient donc pour une grande part sur les perméabilités mesurées.
 - . Effet des dermilites : Après une pluie, le dermilite est rigide et peut se briser de façon nette. En colmatant les fentes provoquées par l'enfoncement des cylindres de mesure, nous réduisons de 3 à 4 fois les vitesses d'infiltration. Ceci confirme le rôle important d'imperméabilisation joué par les dermilites. Notons que POSS (1978) avait trouvé des perméabilités 7 fois plus fortes passant de 22 à 150 cm/h en enlevant les dermilites du sol.
 - . Horizons sous-jacents : La limite culturale ou le fond de labour ne semble pas constituer en soi une surface imperméable. Morphologiquement elle est fissurée et traverse d'ailleurs des volumes aroclodes (fond de labour perturbé) qui sont très poreux et très perméables (160 cm/h). La ralentissement net de l'infiltration s'observe seulement à partir de 4 à 5 cm sous l'arumite meuble, dans les niveaux tassés par les roues de tracteur. L'imperméabilisation du gravolite de Bambadougou est surtout remarquable en sol cultivé.
- La perméabilité du structichron profond de Soula ne paraît guère affecté par les travaux culturaux.

En résumé, nous pouvons donc dire que les sols de Bambadougou et de Guinteguella sont naturellement perméables (16 et 18 cm/h) mais beaucoup moins que le sol de Soula (75 cm/h). La mise en culture a eu pour effet d'accroître la perméabilité des horizons labourés (sur les deux premiers sites) et de diminuer les vitesses d'infiltration d'eau dans les horizons sous-jacents à l'arumite.

3.4. DYNAMIQUE DE RESSUYAGE ET CAPACITE AU CHAMP DES SOLS

La méthode utilisée pour l'étude du ressuyage des sols est très simple : on prélève un échantillon de terre sur chaque emplacement Pioger (6 répétitions) juste à la fin des mesures d'infiltration, puis 24 h, 48 h et 72 h après. Une feuille de plastique permet de protéger le sol de l'évaporation tandis qu'une épaisse couche d'herbe déposée par-dessus limite l'échauffement. Ce suivi permet de déterminer la capacité au champ qui est l'humidité correspondant au taux de remplissage de la porosité lorsque cessent les mouvements rapides d'eau libre. Autrement dit c'est l'humidité du sol au début de la cinétique lente de ressuyage. Il est ainsi possible de faire la part entre une eau dite

Fig. 18 — DYNAMIQUE DE RESSUYAGE DES SOLS DE
BAMBADOUGOU ET DE GUINTEGUELA
 (après plöger)

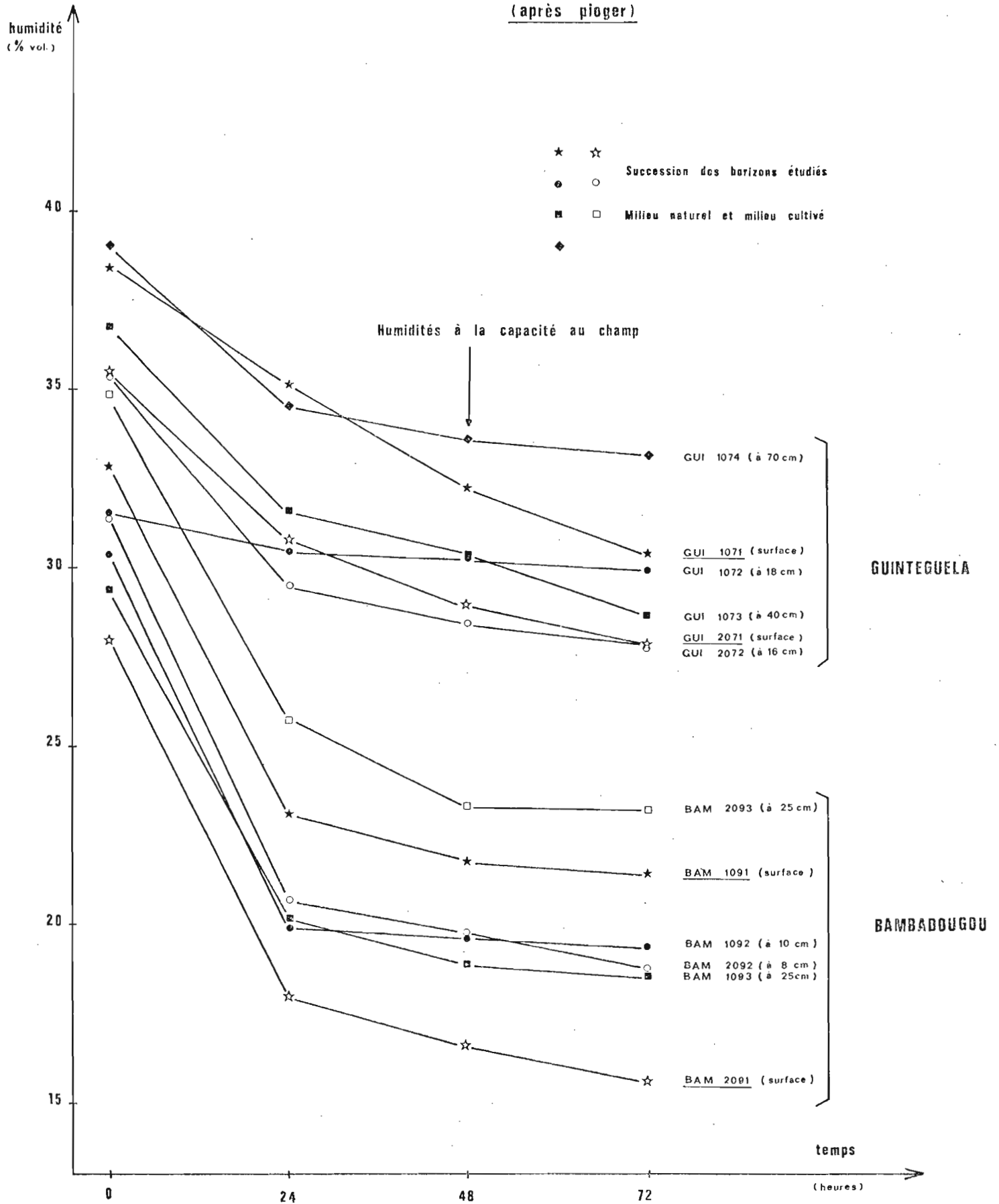


Fig. 19 — DYNAMIQUE DE RESSUYAGE DES SOLS

SOULA (après pioger)

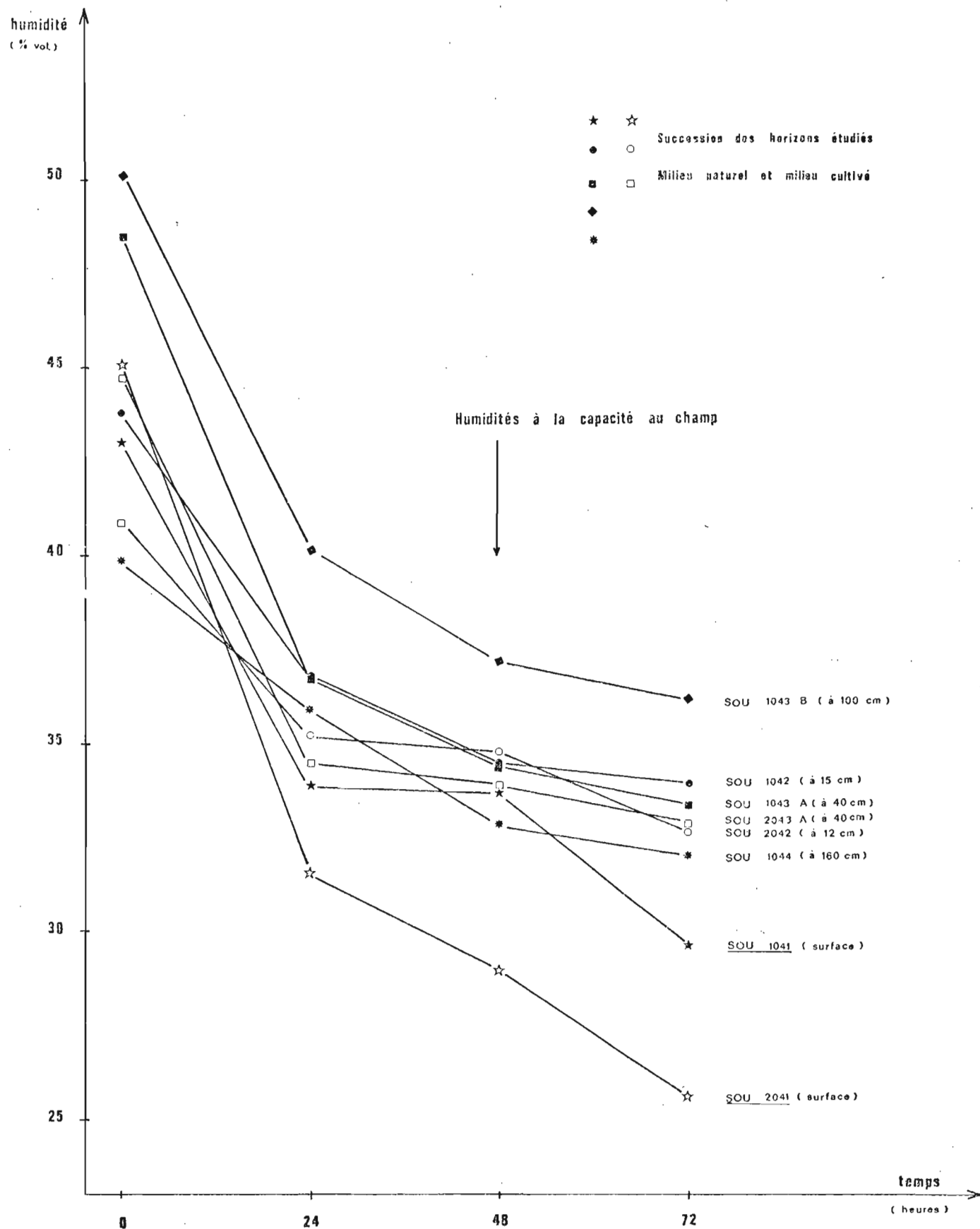
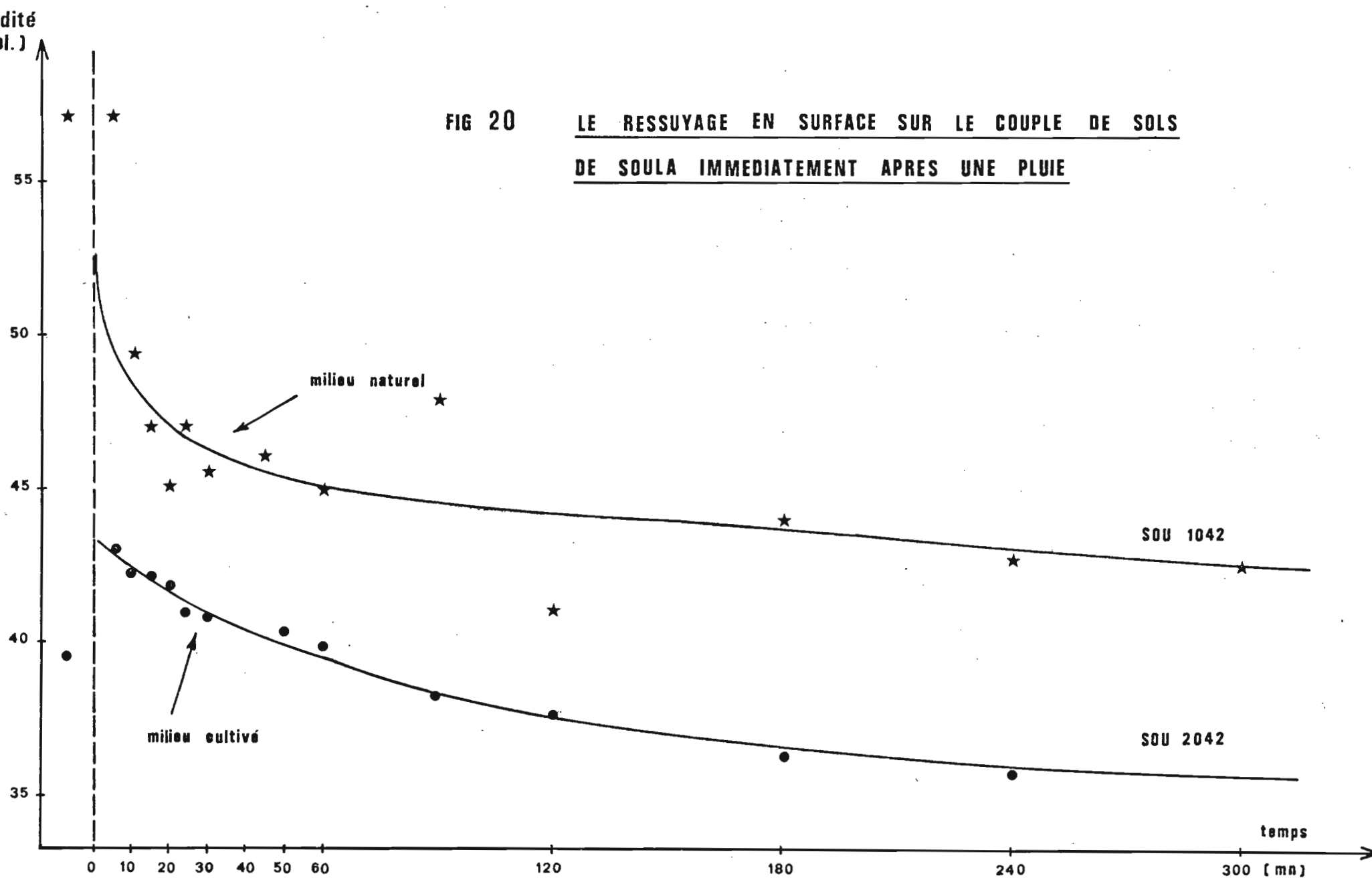


FIG 20

LE RESSUYAGE EN SURFACE SUR LE COUPLE DE SOLS
DE SOULA IMMEDIATEMENT APRES UNE PLUIE



"libre", celle qui circule rapidement, de l'eau "liée" ou "retenue" dont les mouvements dans le sol sont lents.

Les différentes humidités ainsi relevées sont consignées sur les figures n° 18 et 19.

Nous constatons que le ressuyage des sols de Bambadougou et de Soula est très rapide pendant les 24 premières heures. En valeurs relatives, c'est le sol sablo-faiblement argileux de Bambadougou qui draine le plus car 30% de son eau d'imbibition sont ressuyés en 24 h, contre 20% pour le sol de Soula, et 12% pour Guinteguela où le ressuyage est le plus progressif.

Un suivi plus serré du ressuyage à Soula après simulation de pluies a permis de voir qu'en milieu naturel le ressuyage de surface est de loin plus rapide et surtout plus hétérogène qu'en milieu cultivé pendant la demi-heure suivant l'arrêt de la pluie (fig. 20) : c'est la phase de vidange des macropores de l'appumite. Il se confirme donc que la macroporosité fissurale est élevée à Bambadougou et à Soula. Nous avons noté qu'elle est de 9% sur ces 2 sites contre seulement 3% à Guinteguela.

La comparaison des vitesses de ressuyage des horizons superficiels sur parcelles cultivées et sur témoins naturels montre que pour un temps dépassant 10 à 12 heures, les arumites se dessèchent plus vite et plus fortement que les appumites. La cause en serait une augmentation de la porosité par le travail du sol et une intensification des échanges gazeux qui en résulte. Le travail du sol aura donc pour conséquence de diminuer les réserves en eau du sol.

La rupture de pente sur les courbes de ressuyage apparaît 48 h. après l'humidification des sols. Elle semble déjà atteinte 24 h. seulement après l'humidification des sols de Bambadougou et de Soula. Les humidités relevées alors correspondent à la capacité au champ. Un net regroupement est observé pour chacun des 3 sites. Les valeurs trouvées semblent liées avant tout aux teneurs en argile des sols :

Humidités à la capacité au champ en % de volume :

- . Bambadougou : 19 à 22% (17% pour l'arumite)
- . Guinteguela : 29 à 33%
- . Soula : 34 à 35% (29% pour l'arumite).

Nous retrouvons ici encore l'homogénéité du sol de Soula

Nous déduisons de ces valeurs la macroporosité des horizons superficiels (tableau n° 2).

3.5. pF ET EAU DISPONIBLE POUR LES PLANTES

La détermination du pF se fait au laboratoire. Après trempage de 24 heures, les échantillons sont placés durant 24 heures dans un extracteur .

Le stock (E) disponible pour les plantes est donné par la différence entre l'humidité à la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement (humidité déterminée au laboratoire à pF 4,2) : $E = c.c. - pF\ 4,2$.

Les humidités à différents pF des horizons superficiels sont représentées sur la fig. 21. Il en ressort que :

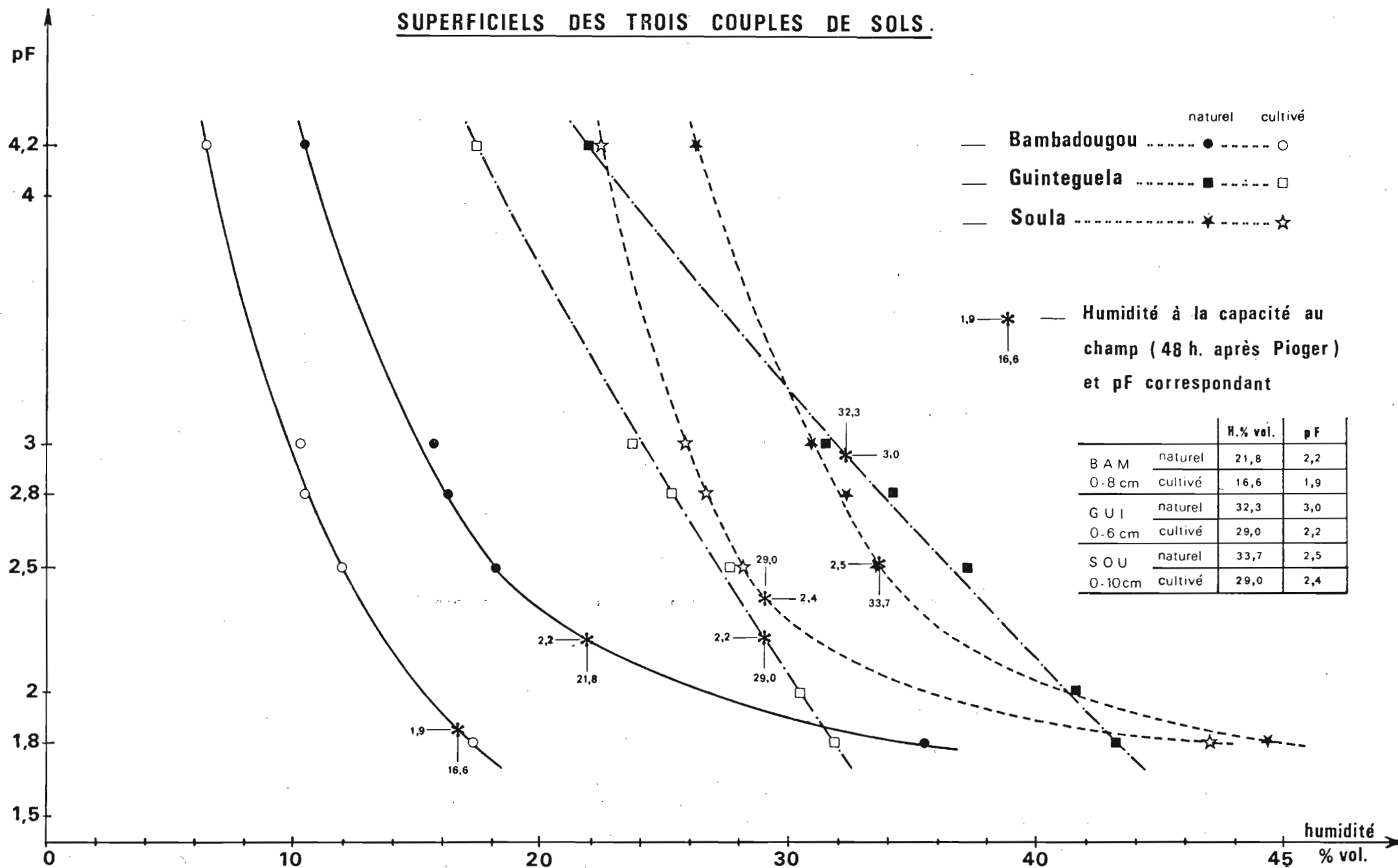
- . A l'état sec (pF 4,2) le sol de Bambadougou ne garde plus que 9 à 10% en volume d'eau, tandis que le sol de Guinteguela renferme encore le double, et celui de Soula entre 23 et 26%.
- . En milieu cultivé, les humidités trouvées à différents pF sont systématiquement inférieures aux humidités trouvées à ces mêmes pF sur le couple de sol non cultivé. La différence est de l'ordre de 5 à 6%. Cela proviendrait surtout de la diminution des densités apparentes, et secondairement des teneurs en matière organique sur sol cultivé. Cela revient à dire que les réserves en eau du sol ont diminué avec la mise en culture.
- . Si nous reportons sur la figure 21 les valeurs des humidités à la capacité au champ trouvées après un ressuyage de 48 h., nous constatons que ces humidités correspondent à des pF assez bas, surtout pour les sols cultivés. Ces pF vont de 1,9 à 2,5, sauf pour le milieu naturel de Guinteguela (pF 3). D'autre part, malgré la texture très argileuse du sol de Soula, son humidité à la capacité au champ est atteinte à un pF relativement bas (pF 2,4 à 2,5). Cette caractéristique serait à rattacher à la grande porosité et à la structure plutôt fine du sol de Soula.

Le calcul des quantités d'eau disponible pour les plantes (annexe 5) montre que les réserves sont faibles dans les arumites meubles : elles sont de l'ordre de 6 à 8 mm seulement.

Nous avons vu que les racines des cultures annuelles ne dépassent pratiquement pas la limite culturale située à 8 cm sur le sol cultivé de Bambadougou. La réserve hydrique utilisable y serait donc de 8 mm dans le meilleur des cas puisque l'épaisseur de l'arumite varie de 4 à 8 cm. L'évapotranspiration potentielle étant de 125 à 140 mm/mois pendant la saison des cultures, cette lame d'eau ne peut assurer l'alimentation d'un couvert végétal continu que pendant 2 jours seulement!...

A Guinteguela il y a une certaine continuité entre l'arumite supérieur et l'arumite inférieur. L'utilisation de tout l'apexol par les plantes leur fournirait une réserve en eau de 16 mm, suffisante pour 4 journées de végétation.

Fig. 21 — HUMIDITES A DIFFERENTS pF DES HORIZONS
SUPERFICIELS DES TROIS COUPLES DE SOLS.



Les réserves en eau sont les plus faibles dans l'arumite de Soula (6,5 mm sur 10 cm d'épaisseur). Pour disposer d'une alimentation en eau suffisante, les cultures doivent donc pouvoir utiliser les réserves des horizons sous-jacents. L'arumite inférieure n'étant pas très tassé ni compact ne semble pas constituer un obstacle physique sérieux à l'enracinement du *Stylosanthes*. Jusqu'à 35 cm de profondeur, les réserves en eau utilisable de ce sol s'élève à 30 mm, et à environ 110 mm jusqu'à 150 cm. Rappelons-nous qu'en milieu naturel, des racines fines assez nombreuses descendent apparemment sans difficulté jusqu'à cette profondeur (cf. aussi 4.8.). Sur le plan de l'approvisionnement en eau, le sol de Soula conviendrait donc à une végétation déjà en pleine croissance de *Stylosanthes*.

3.6. INSTABILITES STRUCTURALES ET PROPRIETES MECANIQUES

(limites d'Atterberg)

3.6.1. Instabilité structurale

Le comportement des agrégats structuraux vis-à-vis de la mise en culture a été étudié au laboratoire avec le test de Hénin (1938) sur les horizons de surface des couples de sols étudiés.

Ce test consiste à déterminer les taux d'agrégats résistant à une agitation standardisée dans l'eau et sur un tamis de 0,2 mm de trois échantillons d'un même sol. Le premier ne reçoit aucun prétraitement, il donnera des agrégats stables à l'eau (Agr. E). Le deuxième est d'abord plongé dans l'alcool éthylique qui met en évidence les différences de cohésion des agrégats (Agr. A) et leur résistance à l'éclatement (COLLINET et VALENTIN, 1979). Le troisième est préalablement traité au benzène qui met en évidence l'influence de la matière organique (Agr. B). Cette détermination couplée avec une mesure des teneurs en argile, limon puis sable grossier permet d'établir un indice d'instabilité structurale (Is) qui prend des valeurs d'autant plus élevées que le sol est moins stable.

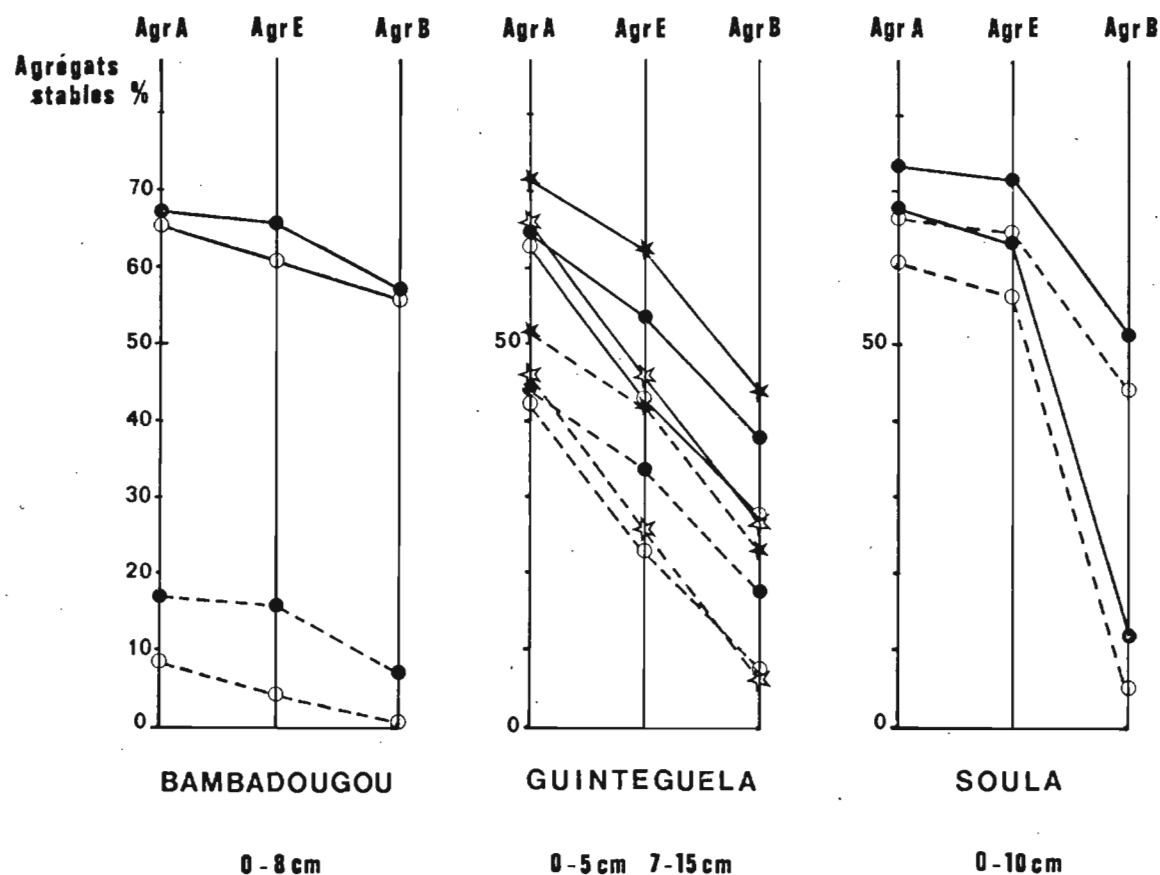
. Agrégats stables

Le résultat des analyses est porté sur la figure 22a.

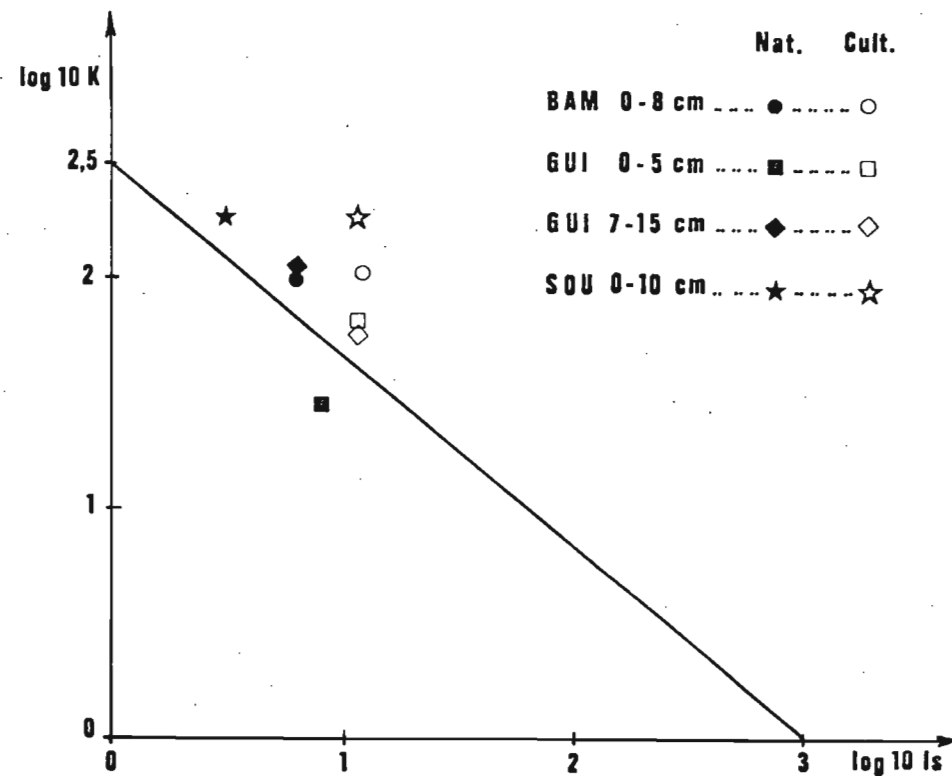
Les résultats du laboratoire semblent conférer au sol de Bambadougou des qualités de stabilité remarquables : les taux en agrégats stables dépassent 55% pour chacun des 3 traitements, aussi bien en milieu naturel qu'en milieu cultivé. Nous avons pourtant observé sur le terrain que ce sol est très susceptible à l'érosion (formation rapide d'épilite et de dermilite)...

En fait les "vrais" agrégats stables ne seraient que la fraction des éléments retenus par le tamis, dont la taille individuelle des constituants est inférieure à la dimension des mailles du tamis (0,2 mm). Dans la pratique tout le sable grossier (0,2 à 2 mm) est pourtant compté comme agrégats stables, qu'il soit ou non engagé dans la formation d'un agrégat. Pour les sols à texture essentiellement sableuse, les valeurs de laboratoire seraient donc surestimées, tandis que ces mêmes valeurs corrigées des teneurs en sable grossier sont sous-estimées. Ces valeurs corrigées

Fig. 22 a) — AGREGATS STABLES A L'ALCOOL, A L'EAU
ET AU BENZENE DANS LES HORIZONS
SUPERFICIELS DES 3 COUPLES DE SOLS



b) — STABILITE STRUCTURALE D'APRES
LES 2 INDICES I_s ET K .



(teneur en agrégats stables moins teneur en sable grossier) constituent néanmoins les teneurs minimales en égrégats stables du sol, et donc un "minimum de comportement" des éléments structuraux du sol vis-à-vis des traitements subis.

Les corrections étant apportées sur la fig. 22, il apparaît que :

- Pour le sol de Bambadougou, les teneurs minimales en agrégats stables sont très faibles comparativement à Guinteguela et à Soula.
- La bonne structuration du sol de Soula apparaît clairement avec ses teneurs en agrégats stables à l'eau et à l'alcool.
- La destruction des agrégats par la mise en culture affecte les sols dans le même ordre que ci-dessus : les sols les moins bien agrégés (comportant sous végétation naturelle le moins d'agrégats stables) sont les plus susceptibles à la destruction (cas de Bambadougou). Il faut de plus remarquer que les méfaits sur le sol de Bambadougou sont catastrophiques puisque 74% des agrégats sont affectés en 2 années de culture seulement (moyenne des 3 traitements).

Le tableau ci-dessous montre que l'ordre des susceptibilités des trois sols est inversé si les teneurs en agrégats stables ne sont pas corrigées des teneurs en sables grossiers. Le sol de Bambadougou apparaît alors comme le plus stable, n'ayant que seulement 3,6% des agrégats détruits par la mise en culture. Signalons que MOREAU (1978) a trouvé dans la région du Centre de la Côte d'Ivoire sur un sol analogue à celui de Bambadougou des taux en agrégats stables à l'alcool ne dépassant guère 30% en savane et 40% en forêt (valeurs non corrigées). Le sol de Bambadougou aurait alors un comportement bien meilleur que ces sols du Centre, possédant entre 55 et 65% d'agrégats stables, aussi bien en milieu naturel qu'en milieu cultivé.

Tableau 3 : Variations avec la mise en culture des teneurs en agrégats stables à l'alcool, à l'eau et au benzène des horizons de surface

(1) : Variations en % des teneurs avec les valeurs non corrigées

(2) : Variations en % des teneurs avec les valeurs corrigées

	BAM (0-8 cm)		GUI (0-5 cm)		GUI (7-15 cm)		SOU (0-10 cm)	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Agr A	-2,6	-52	-2,1	-3,1	-8,5	-11,8	-8,1	-9,0
Agr E	-7,2	-74	-20	-32	-26	-38	-11	-12
Agr B	-1,0	-98	-27	-58	-38	-70	-76	-88
Moyenne	-3,6	-74	-16	-31	-24	-40	-32	-36

Nous observons aussi une baisse très importante du nombre d'agrégats stables au benzène, due à la diminution des teneurs en matière organique des sols cultivés. A Soula c'est la principale cause de la désagrégation puisque les taux en agrégats stables à l'alcool et à l'eau restent élevés.

. Valeurs de Is et K

Les valeurs trouvées sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Valeurs de Is et K (cm/h) dans les horizons superficiels des 3 couples

	BAM (0 - 8cm)	GUI (0 - 5 cm)	GUI (7 - 15cm)	SOU (0-10cm)
Milieu naturel	0,6/9,8	0,8/2,8	0,6/11,5	0,3/18,5
Milieu cultivé	1,2/10,9	1,1/6,8	1,1/5,5	1,1/18,3

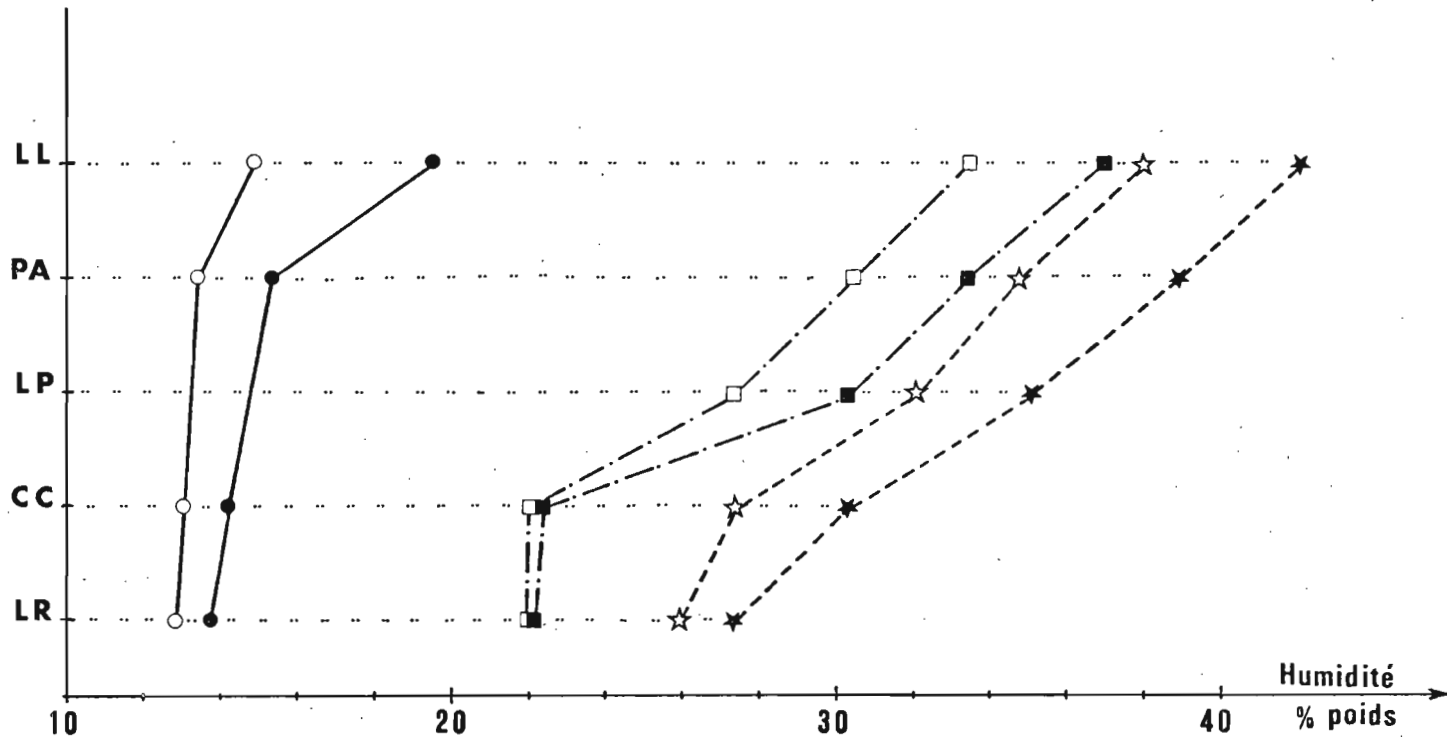
Sous végétation naturelle, la stabilité structurale des horizons superficiels est meilleure à Soula que sur les deux autres sites. En milieu cultivé, la valeur de Is est uniformément égale à 1,1 sur les 3 sols étudiés. Le sol de Soula aurait donc subi le plus de dommage avec la mise en culture.

Le test de perméabilité indique les fortes valeurs sur le sol de Soula, ce qui s'expliquerait par la bonne tenue du sol avec le traitement à l'eau (Agr. E). Pour une même stabilité structurale (milieu cultivé), les perméabilités sont les plus faibles à Guinteguela. Ces deux données sont représentées sur la figure 22.b.

3.6.2. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques étudiées ici se rapportent aux limites et indices d'Atterberg, (ATTERBERG, 1911) et aux limites de retrait. Ce sont des tests de laboratoire, conventionnels et normalisés, dont l'objet est de déterminer les valeurs caractéristiques du taux d'humidité des sols, associées à des changements de comportement mécanique de ces sols. Le mode opératoire est détaillé dans une publication de AUDRY et al. (1973). Les valeurs ainsi obtenues pourraient donner des indications sur le comportement des sols en présence d'eau et sur leur réaction vis-à-vis des instruments de culture. Pour notre cas, ces valeurs serviront surtout à ajuster nos conclusions sur la mesure des transformations subies par le sol avec la mise en culture.

**Fig 23 — LES CARACTERISTIQUES MECANQUES DES
HORIZONS DE SURFACE SUR LES TROIS
COUPLES DE SOLS.
(Indices d'Atterberg)**



Légende :

- LL :** Limite de liquidité (ou limite supérieur de plasticité)
- PA :** Point d'adhésivité
- LP :** Limite inférieur de plasticité
- CC :** Capacité au champ (48 h. après Pioger)
- LR :** Limite de retrait

		nat.		cult.
—————	BAMBADOUYOU	●	○
- - - - -	GUINTEGUELA	■	□
- - - - -	SOULA	★	☆

Donnons les définitions des quelques termes utilisés :

- . limite de liquidité (L.L.) : parfois appelée limite supérieure de plasticité, limitant le domaine plastique et le domaine liquide ;
- . limite (inférieure) de plasticité (L.P.) : humidité limitant le domaine cohérent et le domaine plastique ;
- . point d'adhésivité (P.A.) : teneur en eau pour laquelle le sol cesse d'adhérer à une surface polie ;
- . limite de retrait (L.R.) : humidité pour laquelle le volume apparent d'un échantillon cesse de diminuer en régime de dessèchement, lorsque ce dessèchement se poursuit.

Les résultats sont portés sur la figure 23.

Nous constatons que le travail du sol a eu pour effet de diminuer la valeur de tous les indices mesurés. Ceux-ci sont reserrés dans une très faible gamme d'humidité pour le sol de Bambadougou, indiquant que le sol est très difficile à travailler dès qu'il est humide (Hénin et al. 1969) : il adhère et devient rapidement fluide. L'entraînement des éléments fins est alors facilité, de même que la formation des épilites.

Les sols de Guinteguéla et de Soula ont par contre une large gamme d'humidité, ce qui devrait leur conférer une plus grande stabilité vis à vis de l'érosion et des entraînements par l'eau. Le travail du sol est aussi plus facile puisque le point d'adhésivité est éloigné de la capacité au champ.

Concernant les indices d'Atterberg, le sol de Bambadougou présenterait donc les moins bonnes caractéristiques parmi les trois sols.

3.7. RESISTANCE DU SOL A LA PENETRATION

Cette caractéristique a été mesurée par VALENTIN sur les 3 sites étudiés. La manipulation vise à déterminer la cohésion des différents horizons par la résistance qu'ils exercent à la pénétration d'un objet. Deux méthodes ont été alors utilisées : la première méthode (pénétrométrie à masse) cherche à déterminer les variations de cette résistance tout le long d'un profil, et la seconde méthode (pénétrométrie proctor) permet d'analyser les différents facteurs (humidité, taux de pierrosité.. intervenant sur ce caractère.

Les commentaires suivants sont de C. VALENTIN (VALENTIN et MONG-GINE, 1979).

3.7.1. Pénétrométrie à masse

La méthode de la pénétrométrie à masse consiste à laisser tomber une masse d'une hauteur connue le long d'une tige ; cette masse frappe une petite enclume située en haut d'une tige pointue qui sous l'effet des coups répétés s'enfonce petit à petit dans le sol. Le nombre de coups nécessaire pour faire pénétrer cette tige est noté centimètre par centimètre. Il est possible de déterminer ainsi le profil pénétrométrique correspondant au point d'essai. Cinq répétitions par site permettent de définir un profil médian.

Une relation empirique dite "formule des hollandais", AUDRY et al., 1973, traduit les résultats en unités internationales (kg/cm). Correspondant aux trois couples, les six profils obtenus amènent certaines remarques (fig. 24) :

- dans les trois cas, la mise en culture a eu pour effet d'ameublir considérablement l'arumite par rapport au témoin naturel (surtout à Guintéguela). Il paraît surtout intéressant de noter que ce caractère se maintient longtemps après les travaux culturels (près d'un an).
- une discontinuité très marquée se dessine sur les trois profils cultivés : une brusque augmentation de la résistance à la pénétration apparaît pour les trois sites entre 15 et 20 cm, c'est à dire sous le fond de labour. La différence la plus marquée avec le témoin naturel s'observe à Soula, où l'influence du tassement se fait sentir jusqu'à 50 cm de profondeur. Doit-on en conclure que la présence de gravillons sous l'arumite assure ailleurs (Bambadougou et Guintéguela) une certaine "ossature" au sol ? L'intérêt du labour à Soula serait éventuellement à remettre en cause ; il pulvérise à l'excès (cf. densité apparente) un horizon déjà meuble en compactant fortement les horizons sous-jacents.
- l'étude morphologique des deux profils de Guintéguela a révélé l'existence de nombreuses niches biologiques situées juste au-dessus du gravolite. Elles représentent 20% de la surface de cet horizon ; ces vides apparaissent très nettement en pénétrométrie à masse (cf. graphe) et provoque une importante inflexion du profil de résistance tant en milieu cultivé que sous témoin naturel.

La comparaison de ces six profils pénétrométriques n'est possible que dans ces conditions de réalisation. Ils ont tous été déterminés en même temps, en fin de saison sèche. Il est bien évident que l'état hydrique des sols intervient sur leur résistance à la pénétration. Voilà pourquoi, il nous a paru nécessaire d'utiliser une autre méthode qui permette de mettre en évidence l'influence des différents facteurs de cohésion (humidité, taux d'éléments grossiers, texture...).

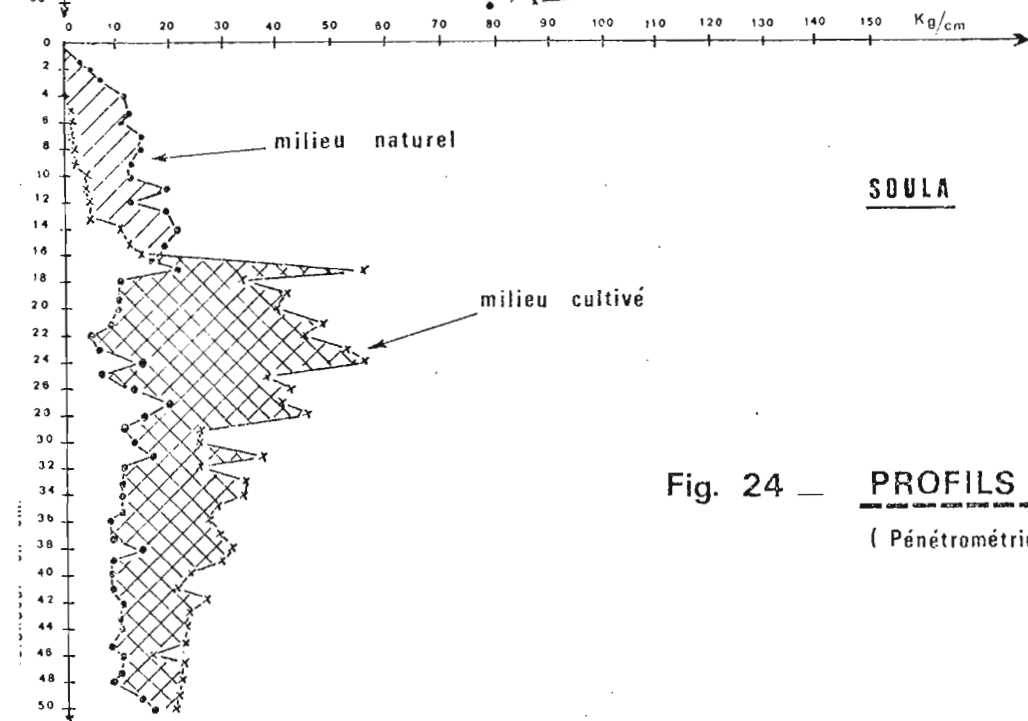
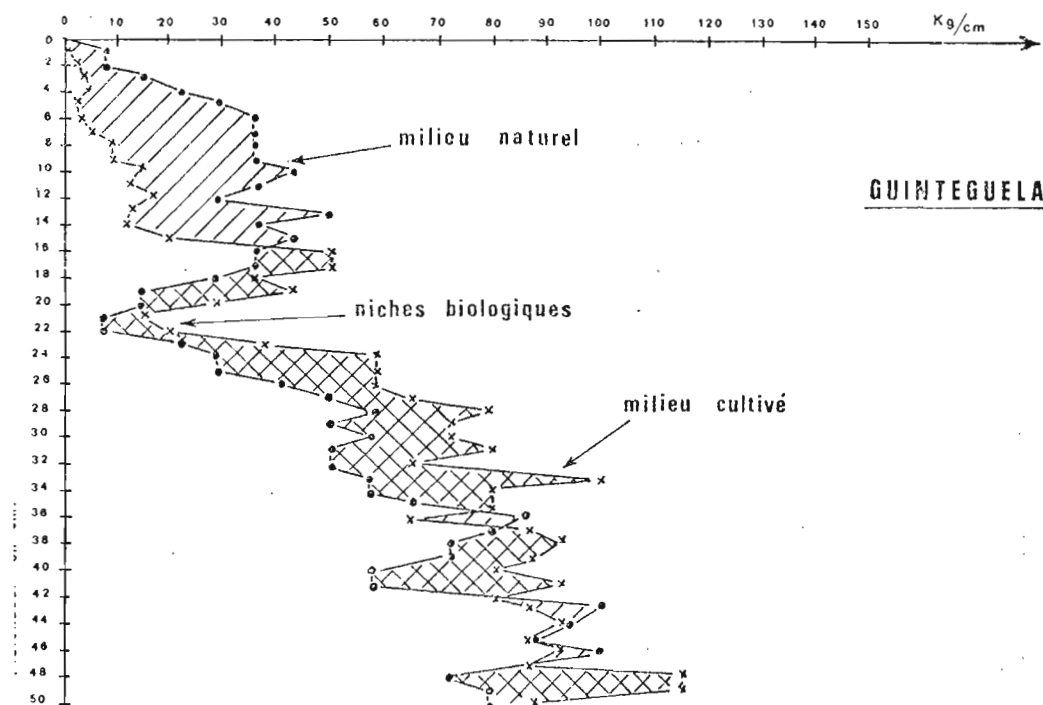
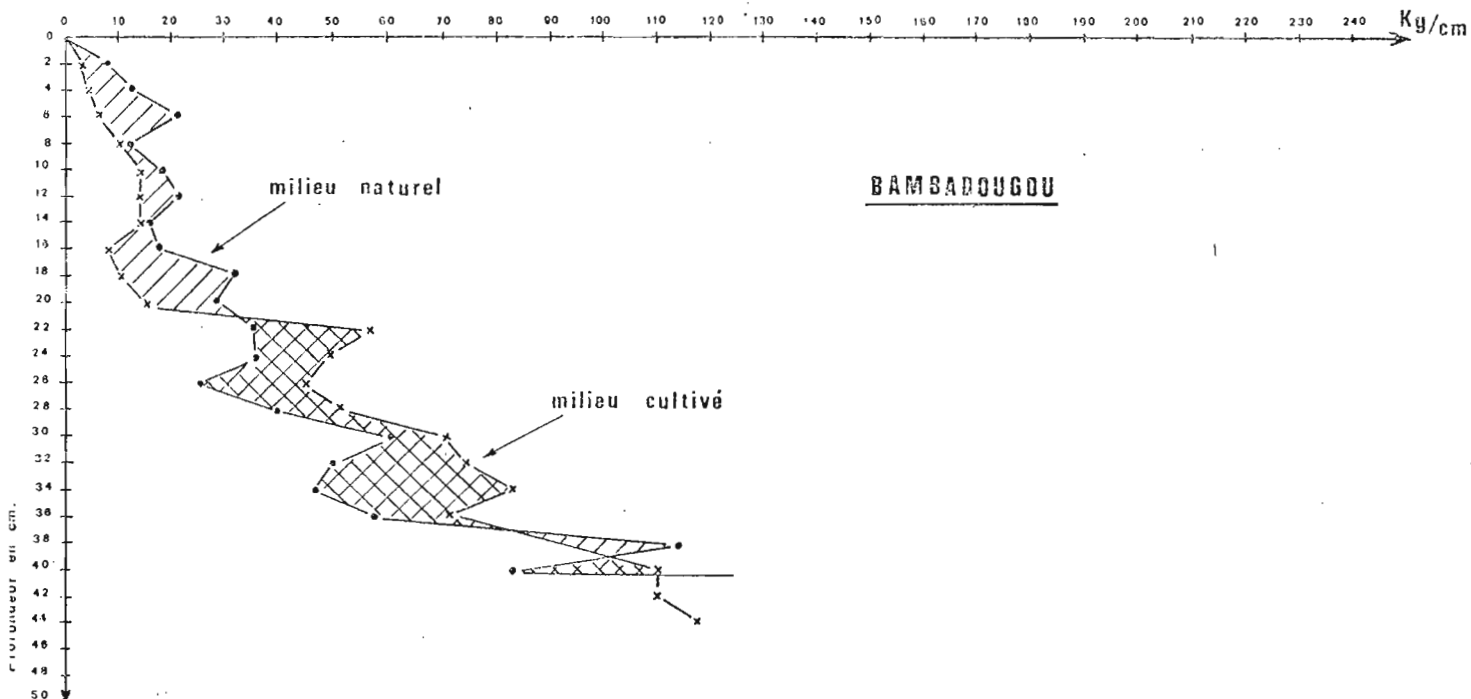


Fig. 24 — **PROFILS PENETROMETRIQUES**
(Pénétrométrie à masse)

3.7.2. Pénétrométrie à aiguille proctor

L'appareil utilisé (aiguille proctor) est une tige dynamométrique munie d'embouts interchangeables de différents diamètres. Il permet de mesurer la force qu'il est nécessaire d'exercer pour enfoncer une surface d'un centimètre carré sur une profondeur d'un centimètre dans un matériau donné. Compte tenu de l'hétérogénéité des sols, nous opérons entre 30 et 50 répétitions par situation. Utilisant les points d'essais de dynamique de ressuyage, nous déterminons la résistance à la pénétrométrie pour chaque horizon, à sec, après humidification Pioger, puis 24, 48 et 72 heures après. Ces différentes mesures permettent de suivre l'évolution de la résistance à la pénétration en fonction de l'humidité.

Etant donné le nombre de couples (résistance/humidité), entre 20 et 25, obtenus par horizon, il est possible d'ajuster avec une précision acceptable ($r > 0.9$ et n de 19 à 30) les courbes obtenues à des fonctions exponentielles de la forme :

$$\pi = a e^{-b H}$$

- π : résistance à la pénétration (daN/cm²/cm)
- a : indice de pénétrométrie intrinsèque (daN/cm²/cm)
- b : indice de prise en masse (sans unité)
- H : humidité pondérale (%)

Le tableau suivant regroupe les différentes valeurs de a et b obtenues, horizon par horizon (tableau 5):

L'étude des indices de pénétrométrie intrinsèques permet de faire abstraction de l'état hydrique du sol. Les valeurs les plus fortes de cet indice sont obtenues pour les gravolites structichromes c'est-à-dire pour les horizons gravillonnaires contenant entre 15 et 30% de terre fine.

Cette méthode permet de retrouver, mais cette fois-ci indépendamment de l'époque de mesures, les résultats apportés par la pénétrométrie à masse, à savoir un ameublissement de l'horizon cultivé et un tassement de l'horizon sous-jacent.

Les variations de l'indice de prise en masse sont beaucoup plus faibles que pour a . Il apparaît cependant que les horizons superficiels, et notamment les arumites, se distinguent des autres horizons par la faible dépendance de leur résistance à la pénétrométrie par rapport à l'humidité : quelle que soit la saison ils restent meubles. Les gravolites structichromes, par contre, dont les valeurs de a et b sont les plus élevées, peuvent s'ameublir considérablement en saison des pluies. Cette propriété, due aux relations existant entre la terre fine et les gravillons, est à rapprocher de la densité parfois élevée de racines rencontrées dans ces horizons (à Bambadougou). La présence de gravillons assurerait une armature contre le tassement ; en saison des pluies elle ne constituerait pas de plus un obstacle rédhibitoire à la pénétration des racines.

Tableau 5 : Indices de pénétrométrie intrinsèque et indices de prise en masse sur les 3 couples de sols.

Horizons		Nombre de couples	a	b
BAM 109.1	appumite	20	39	0.18
BAM 109.2	structichron dyscrophe	19	41	0.21
BAM 109.3	gravolite structichrome	20	659	0.42
BAM 209.1	arumite supérieur	28	7	0.11
BAM 209.2	arumite inférieur	25	98	0.23
BAM 209.3	gravolite structichrome	20	299	0.28
GUI 107.1	appumite	25	17	0.08
GUI 107.2	gravolite structichrome dyscrophe	25	853	0.25
GUI 107.3	gravolite structichrome phase altéritique	25	273	0.18
GUI 107.4	gravo-structi-altérite	23	929	0.20
GUI 207.1	arumite supérieur	25	11	0.08
GUI 207.2	arumite inférieur gravolique	25	197	0.15
GOU 104.1	appumite	25	21	0.05
GOU 104.2	structichron dyscrophe	25	61	0.10
GOU 104.3	structichron (à 40 cm)	30	73	0.09
GOU 104.3	" (à 100 cm)	30	418	0.13
GOU 104.4	gravolite structichrome	24	1374	0.18
GOU 204.1	arumite supérieur	23	1	0.003
GOU 204.2	arumite inférieur dyscrophe	25	73	0.10
GOU 204.3	structichron (à 40 cm)	20	25	0.06

3.8. ETUDE INFILTROMETRIQUE SUR LE SOL DE SOULA

Parmi les 3 sites étudiés dans la région de Touba, nous avons retenu celui de Soula pour faire des mesures d'infiltration d'eau avec l'infiltromètre à aspersion mis au point par l'ORSTOM (ASSELIN et VALENTIN, 1978). Trois sites ont été alors étudiés en milieu naturel et trois autres en milieu cultivé. Parallèlement à ces mesures, nous avons étudié le drainage interne de ce sol par la méthode dite du "drainage interne", avec utilisation de sonde à neutrons et de tensiomètres.

3.8.1. Le ruissellement et l'érosion sous pluies simulées

Les pluies simulées avaient les caractéristiques d'une pluie décennale (116 mm en 24 h.) et, tenant compte des courbes intensité-durée de BRUNET-MORET (1967), des intensités allant de 45 à 120 mm/h.

Pour la compréhension de l'étude de ressuyage qui sera présentée plus loin, signalons que les observations concernant le ruissellement sont faites à l'intérieur d'un cadre de 1m² enfoncé dans le sol.

Les résultats chiffrés de ces mesures feront l'objet d'un rapport ultérieur (VALENTIN, à paraître).

Le premier dépouillement des résultats (3 sites expérimentaux par milieu) a montré que :

- Les intensités limites d'infiltration à saturation (I_1 = intensité de pluie à partir de laquelle commence le ruissellement) sont de 34 mm/h en milieu naturel et de 25 mm/h en milieu cultivé.

Ces valeurs indiquent que le sol de Soula est plus perméable que les sols testés par ailleurs en Côte d'Ivoire. A Papara-Tingréla (VALENTIN, 1978), I_1 varie de 23 mm/h en haut de topographie, à 15 mm/h au milieu et 9 mm/h en bas de versant. A Kobo dans la région de Katiola, (COLLINET et VALENTIN, 1979), I_1 passe de 24 à 14 puis 21 mm/h.

- Les pluies d'imbibition sur un sol sec varient dans une gamme très large (6 à 45 mm), plus basse pour le sol cultivé qu'en milieu naturel. Sur sol saturé, les pluies d'imbibition sont par contre très faibles (1 à 4 mm) et ne permettent plus de distinguer le milieu naturel du milieu cultivé.
- Le ruissellement augmente très vite en milieu cultivé et atteint des valeurs généralement supérieures à celles du milieu naturel. Des pluies de 90 mm/h tombées après un temps d'arrêt de 10 mn sur un sol saturé ont donné lieu entre 8 et 21% de ruissellement en milieu naturel, et 47 à 80% en milieu cultivé.

Nous attribuons la raison principale de ces ruissellements aux dermites du milieu naturel et à ceux formés pendant les pluies en milieu cultivé (cf. 2.3.2.). Le ruissellement sous un même régime de pluie serait alors beaucoup plus fort à Bambadougou et à Guinteguela où ces formations sont plus nombreuses.

- Le débit solide en milieu cultivé peut être très important. Nous avons notamment observé une forme d'érosion en marche d'escalier : la surface du sol qui avait une forme assez régulière (pente moyenne de 6%) a été refaçonée en deux jours de pluies seulement. Le déplacement gravitaire du matériau aurait été favorisé par l'absence de cohésion et la résistance assez remarquable des agrégats à la destruction par l'eau (cf. 3.6.1.).

En conclusion nous pouvons dire que la mise en culture a dégradé les caractéristiques hydrodynamiques du sol dans la mesure où le ruissellement peut se produire sous une intensité de pluie plus faible (25 au lieu de 34 mm/h) et que le coefficient de ruissellement est fortement augmenté.

La comparaison des intensités limites d'infiltration (34 et 25 mm/h) avec les vitesses d'infiltration Pioger trouvées en surface (75 et 78 cm/h) montrent par ailleurs que cette deuxième méthode est loin de refléter la réalité sur la dynamique de l'eau dans les conditions naturelles du sol. De nombreux auteurs font, à ce titre, une critique de la méthode (POSS, 1976 et VALENTIN, 1978).

3.8.2. Le drainage interne du sol cultivé de Soula

La manipulation consiste à suivre le ressuyage d'un sol après infiltration d'une lame d'eau (inondation ou pluie), en supprimant toute évaporation par la surface du sol. Elle repose sur l'utilisation simultanée d'une sonde à neutrons et d'une série de tensiomètres, et sur l'analyse des mesures. Les principes de fonctionnement des tensiomètres et des sondes à neutrons sont donnés à l'annexe 4. Le but est de définir des paramètres hydrodynamiques et les relations qui les lient afin de connaître la dynamique de l'eau dans le sol, le stockage et les flux notamment. C'est une méthode qui n'est valable que dans le cas où les transferts ont lieu dans la seule direction verticale, et dans des sols suffisamment drainants.

Les conditions d'application et les explications sur la méthodologie sont largement exposés par VACHAUD et al. (1978) à partir d'une étude réalisée sur les sols sableux du Sénégal. Nous exposons brièvement cette méthode.

3.8.2.1. Principe de la méthode

Les relations à déterminer sont celles reliant d'une part la conductivité hydraulique K et d'autre par la pression de l'eau du sol h à sa teneur en eau θ .

- La pression effective de l'eau h (en cm d'eau, valeur négative car dépression) est donnée par les relevés tensiométriques à l'aide de tensiomètres placés à différentes profondeurs dans le sol.

- La charge hydraulique H est reliée à h par la relation :

$$H = h - Z$$

Z est la cote d'implantation du tensiomètre dans le sol.

- La teneur en eau θ (en cm^3/cm^3) est obtenue par les mesures neutroniques à la sonde.
- Le transfert se faisant verticalement, la loi de Darcy généralisée peut s'appliquer pour la détermination du flux volumique ou vitesse de Darcy :

$$q = - K(\theta) \cdot \frac{\Delta H}{\Delta Z}$$

$\frac{\Delta H}{\Delta Z}$ est le gradient de charge entre deux sections distantes de ΔZ .

Ce flux peut être obtenu par la mesure des variations de stock ΔS_z dans le volume de sol limité par la surface du sol et la section de cote Z .

$$q(Z) - q_0 = - \frac{\Delta S_z}{\Delta t}$$

q_0 étant nul (flux à travers la surface, de cote $Z = 0$) et ΔS_z négatif (perte de stock), on a :

$$q(Z) = \left| \frac{\Delta S_z}{\Delta t} \right|$$

$q(Z)$ est la vitesse de Darcy à un temps moyen entre deux mesures t_1 et t_2 .

La méthode de calcul instantané (WATSON, 1966 cité par VACHAUD et al., 1978) permet directement d'avoir le flux à un instant t sans avoir à considérer les différences de stock : on calcule à différents instants la valeur du stock d'eau compris entre la surface du sol et le niveau de référence (valeur obtenue par intégration des profils hydriques, soit :

$$S(Z, t) = \int_0^Z \theta \, dZ$$

et on trace la courbe $S_z(t)$ donnant la variation dans le temps de cette grandeur. Le flux à l'instant t passant à travers la cote Z est la pente de la courbe $S_z(t)$:

$$q(Z) = - \frac{dS_z}{dt}$$

Si à l'instant t de référence on connaît également le profil de charge $H(Z, t)$, la pente de la courbe à la cote Z donne directement le gradient $\frac{dH}{dZ}$. La relation de Darcy donne alors :

$$K = - \frac{q}{dH/dZ}$$

Cette valeur de K sera affectée à la valeur de la teneur en eau θ mesurée à cet instant et à cette cote.

En corrélant d'autre part θ et h , on obtient un point de la courbe $h(\theta)$ représentative de l'horizon de sol considéré.

On obtient ainsi les relations $K(\theta)$ et $h(\theta)$ pour les différents horizons.

3.8.2.2. Expérimentation et résultats obtenus

a) Caractéristiques de l'expérimentation

A proximité du cadre des mesures infiltrométriques (à 15 cm) et sur une aire soumise aux pluies ont été placés :

- en milieu naturel : 10 tensiomètres (type NEYRTEC) aux cotes suivantes : 5, 15, 25, 35, 45, 60, 75, 90, 105 et 120 cm, et un tube de sonde dont le fond est à 105 cm (= niveau du gravolite. Le milieu naturel est proche des affleurements de stérile) ;
- en milieu cultivé : 5 tensiomètres aux cotes de 5, 15, 25, 50 et 90 cm et un tube de sonde dont le fond est à 175 cm (le gravolite est à plus de 2 m de profondeur mais nous n'avons pas pu enfoncer le tube plus au fond).

A l'emplacement des deux autres cadres infiltrométriques ont été installés deux autres tubes de sonde et une série de tensiomètres.

Une sonde SOLO et une sonde HP 310 nous ont été prêtées par le Laboratoire des Radio-Isotopes pour les mesures d'humidité. Elles ont été utilisées successivement ou simultanément sur les sites.

Des essais de mesure avec la sonde HP 310 sous pluies simulées ont donné des résultats inexploitable, certaines mesures n'étant pas reproductibles. La sonde SOLO donnait des résultats plus répétitifs, cependant elle n'était pas adaptée aux mesures sous pluies.

Les cotes de mesure sont à 15 cm puis tous les 10 cm jusqu'au fond du tube.

Le total des pluies infiltrées est de l'ordre de 400 mm par site. A titre de mesure comparative, une lame d'eau de 800 mm a été par la suite infiltrée sous charge autour du tube de sonde afin de vérifier si la hauteur d'eau tombée avait bien humecté tout le profil.

Les premiers relevés tensiométriques n'ont pu se faire qu'après les premières pluies, le sol étant trop sec à l'installation des tensiomètres. Sur chaque site d'observation, les mesures ont été poursuivies pendant une dizaine de jours environ.

b) Les résultats

Les valeurs mesurées au laboratoire des pentes des droites d'étalonnage pour les sondes ne nous ont pas encore été communiquées. Nous ne présenterons donc que des résultats partiels sur une série de mesures faites en milieu cultivé. Ces résultats ont été dépouillés à partir des seules données relevées sur le terrain pour l'étalonnage (mesure de 2 humidités différentes par prélèvement à la tarière, couplée à des mesures de sonde).

A l'état sec, (25 mai 1979, fin de saison sèche, une pluie de 17 mm 6 jours auparavant), le sol avait en moyenne 35% d'humidité volumique à partir de 35 cm de profondeur (cf. fig. 25). Au-dessus l'humidité baisse régulièrement jusqu'à 30%.

Deux séries d'essais ont été expérimentées sur le site d'étude. Les résultats sont portés sur le tableau ci-dessous.

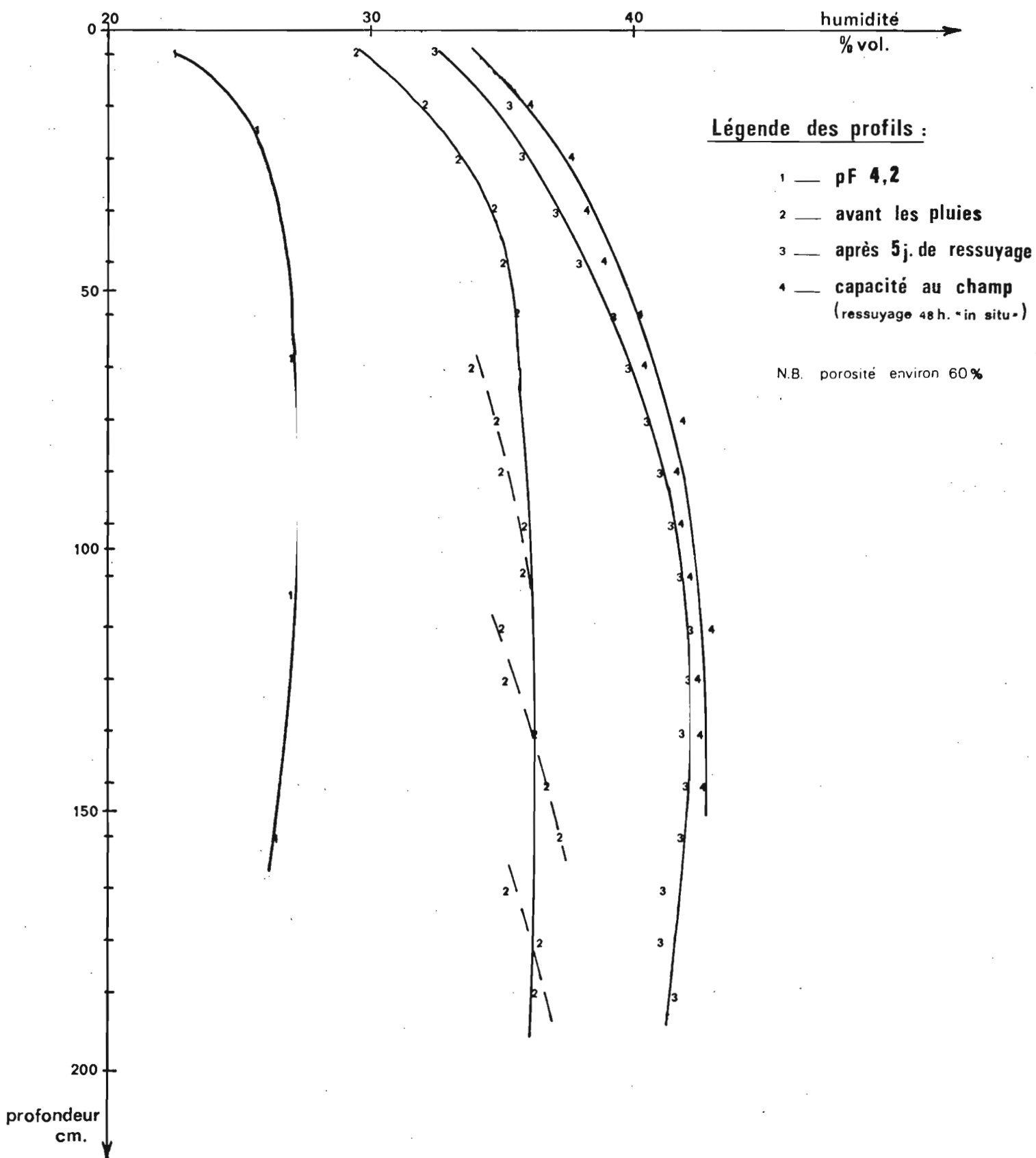
Tableau 6 : Bilan des infiltrations de 4 pluies sur le sol cultivé de Soula.

	1er essai		2ème essai	
	1ère pluie	2ème pluie	1ère pluie	2ème pluie
Temps séparant de la pluie précédente (jours)	6	1	5	1
Humidité avant pluie (% vol.)	31	42	39	43
Lame d'eau infiltrée* (pluie, mm)	104	130*	60	107*
Temps d'observation après pluie (heures)	17	1,5	0,75	1,5
Front d'humectation (cm)	150	135	105	135
Eau stockée** (% de pluie infiltrée)	72	32	75	39
% de pluie infiltrée non stockée	28	68	25	61

* total des pluies de contrôle d'intensité (= 30 mm, pendant lesquelles le cadre de mesure infiltrométrique est couvert) et des pluies infiltrées selon les protocoles d'essai.

** calculée à partir des différentes teneurs en eau observées à la sonde.

Fig. 25 PROFILS HYDRIQUES CARACTERISTIQUES DU SOL CULTIVE
DE SOULA.



Il apparaît que l'écoulement de l'eau à travers le sol n'a pas été strictement vertical pendant les pluies. En effet toute la pluie infiltrée au niveau du tube de sonde n'a pas été stockée dans le volume de sol sous-jacent à la surface réceptrice (le front d'humectation a été observé).

Le pourcentage de l'eau infiltrée non stockée qui correspondrait donc à des infiltrations latérales sont de l'ordre de 25 à 30% sur sol sec, suffisamment ressuyé, et de 60 à 70% sur sol humide ayant dépassé la capacité au champ. Ces infiltrations sont importantes, elles paraissent liées à la porosité élevée du sol, et probablement à une insuffisance de la surface de garde mouillée lors des pluies (seulement 30 cm par rapport à la sonde à une intensité de pluie de 120 mm/h). La grande partie de ces transferts latéraux se produiraient surtout lors des pluies de contrôle tombées au début de l'essai, pendant lesquelles la parcelles de 1 m² infiltrométrique est couverte : le sol sec sous-jacent au cadre constitue dans ce cas une zone de transfert "préférentielle" à mesure que le sol se sature au niveau du tube de sonde. Il est alors vraisemblable que sous pluie naturelle des infiltrations de telle grandeur n'aient pas lieu. Le phénomène reste toutefois remarquable car même sous une pluie naturelle, le sol n'est jamais uniformément humidifié, surtout en début de pluie (répartition de la pluie selon la structure végétale interceptrice : supraplexion et métaplexion supérieur).

Les résultats que nous livrons restent malgré tout critiquables dans la mesure où le tube de sonde est placé en dehors du cadre de mesure et que les humidifications n'ont pas toujours eu lieu en même temps à l'intérieur du cadre et au niveau de la sonde (pluie de contrôle).

Pour s'assurer qu'il y a eu effectivement transferts latéraux il aurait fallu, en toute rigueur, que le tube de sonde soit placé au milieu de la parcelle de mesure. Il est possible qu'un tel problème ne se pose pas, ou serait très peu important sur un sol moins profond et moins perméable que le sol de Soula.

Dans les deux essais de pluies, il a suffi de 3 heures pour que le front d'humectation dépasse 160 cm de profondeur, soit en moyenne 55 cm/h. Cette vitesse est remarquablement rapide. A titre de comparaison, nous indiquons que VACHAUD et al. (1978) ont mis 1 heure et demie pour humecter 160 cm d'un sol très sableux, constitué seulement de 3% d'argile + limon.

Cette "vitesse d'humidification" n'est pas comparable aux vitesses Pioger qui se rapportent aux vitesses d'infiltration d'une lame d'eau. Elle est cependant rapide et suggère que les vitesses de 10 à 14 cm/h trouvées avec la méthode Pioger pour le structichron (à partir de 40 cm de profondeur) rendent mal compte de la dynamique des infiltrations.

L'infiltration en surface d'une lame d'eau de 800 mm sous charge en 1h 05 mn a permis de retrouver la vitesse d'infiltration Pioger donnée au paragraphe traitant de ces mesures.

Les profils hydriques reportés figure 26 permettent d'apprécier la cinétique à l'humidification. En comparant la courbe n° 2 relevée 17h après infiltration de 104 mm d'eau à la courbe n° 5 (43 h. après infiltration totale de 234 mm en 2 jours), on s'aperçoit que l'apport de 104 mm d'eau a suffi à reconstituer les réserves hydriques du sol jusqu'à 115 cm de profondeur.

Les courbes n° 3 et 4 montrent le ressuyage du sol après la pluie, toutes les sections drainant uniformément (ce qui ne peut être le cas pendant une pluie). Le calcul des volumes d'eau transférés (en tout 9 mm) des 125 premiers centimètres du sol vers la couche comprise entre 125 et 160 cm indique qu'il n'y a pas eu de transferts latéraux lors du ressuyage. Le drainage se fait donc verticalement : les horizons supérieurs se dessèchent au profit des horizons inférieurs, à volume égal d'eau. Cette constatation est confirmée par une autre série de relevés que nous ne reproduisons pas ici.

Quarante trois heures après la pluie, le profil hydrique est stabilisé, le ressuyage devient très lent ; l'humidité à la capacité au champ du sol est atteinte. Celle-ci est de l'ordre de 40 à 42% en volume, c'est-à-dire 5 à 6% de plus que les valeurs trouvées par prélèvement de terre à la suite des mesures d'infiltration Pioger (cf. 34). Cela vient probablement du fait que la pression dans le sol est inférieure à la pression atmosphérique. L'eau y serait alors retenue plus énergiquement qu'elle ne l'est lorsque l'horizon est décapé et ouvert à l'air libre.

Sur la figure 25 nous avons reporté le profil hydrique du sol à la capacité au champ, obtenu après le deuxième train de pluies (infiltration totale de 430 mm d'eau), ainsi que le profil hydrique au point de flétrissement (pF 4,2). Le calcul des réserves en eau disponible pour les plantes donne presque le double des valeurs trouvées au paragraphe 3.5. : 209 mm contre 110 mm sur 150 cm de profondeur, et 38 mm au lieu de 30 mm dans les 30 premiers centimètres du sol. Ces valeurs sont élevées mais peut-être plus réalistes que les précédentes.

La figure 27 correspond aux profils tracés sur la figure 26. Nous voyons que les humidités sont croissantes en profondeur. Elles varient dans le même sens que les teneurs en argile du sol (cf. annexe 2.).

La figure 28 donne les relations $S_z(t)$ définies précédemment. Elle est déduite des deux figures précédentes. Il apparaît nettement sur les courbes $S_z(t)$ l'importance des stocks hydriques. Les valeurs obtenues (par exemple 500 mm entre 0 et 125 cm) sont près de 6 fois supérieures à celles trouvées sur les sols sableux du Sénégal. D'autre part les variations du stock, autrement dit le drainage, sont très lents.

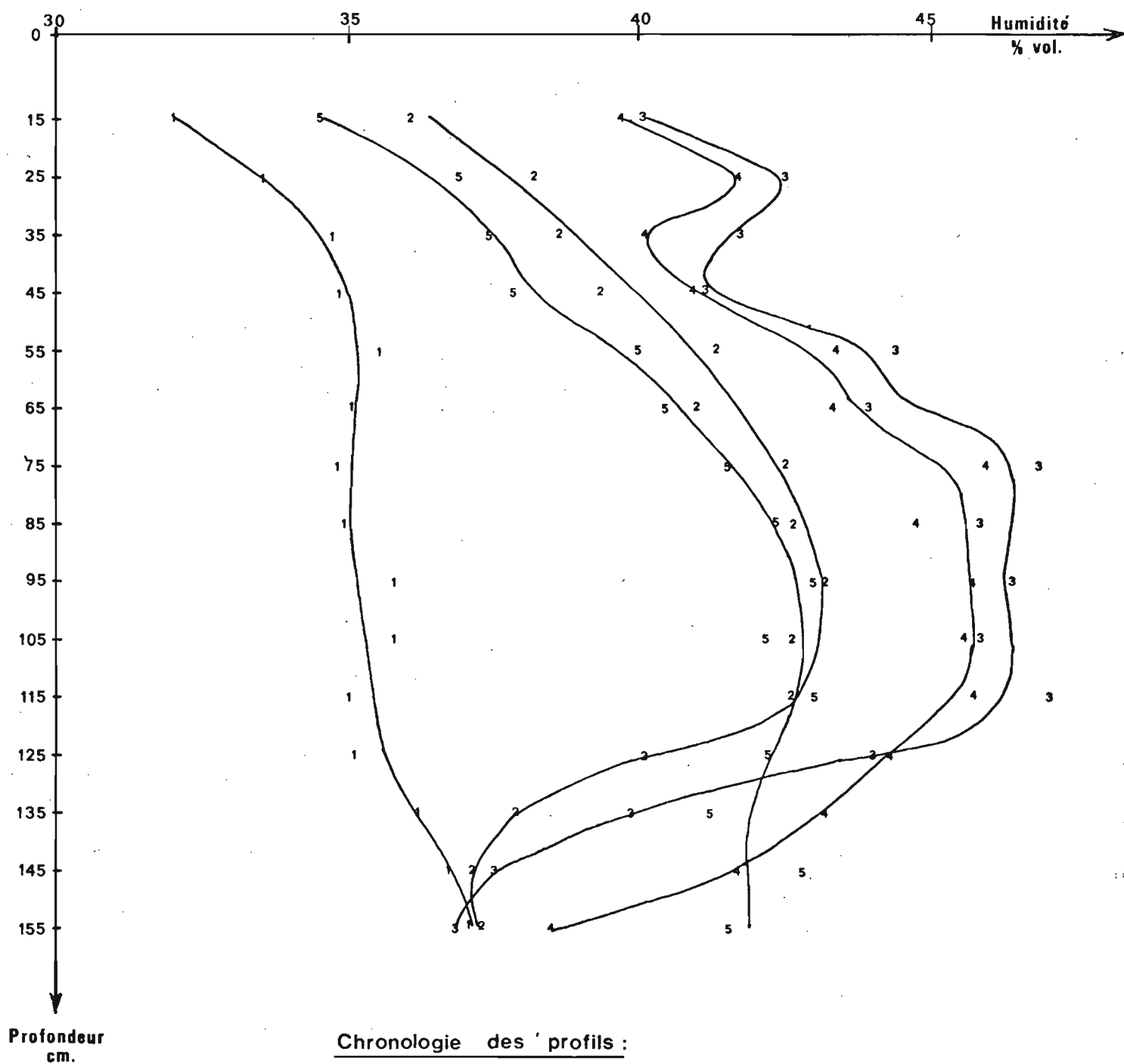
La figure 29 représente les relevés tensiométriques : profils de charges hydrauliques ou relations $H(Z, t)$.

Ce sont les tangentes à ces 2 derniers types de courbe qui permettent de déterminer les valeurs de K à différentes cotes et correspondant à l'humidité du moment (t).

$$K = - \frac{dS_z/dt}{dH/dZ}$$

Fig. 26

QUELQUES PROFILS HYDRIQUES DU SOL CULTIVE DE SOULA
OBTENUS LORS DE L'ESSAI DE DRAINAGE INTERNE



Chronologie des ' profils :

- 1 — Profil sec, avant les pluies
- 2 — 17 h. après 1^{ères} pluies (104 mm infiltrés)
- 3 — 0 h. après 2^{èmes} pluies (130 mm infiltrés)
- 4 — 3 h. — — — — —
- 5 — 43 h. — — — — — (capacité au champ)

Fig. 27

EVOLUTION DANS LE TEMPS DE LA TENEUR EN EAU A DIFFERENTES COTES
DURANT L'ESSAI DE DRAINAGE INTERNE DU SOL CULTIVE DE SOULA
 (profils hydriques correspondant aux cinétiques de la fig.26)

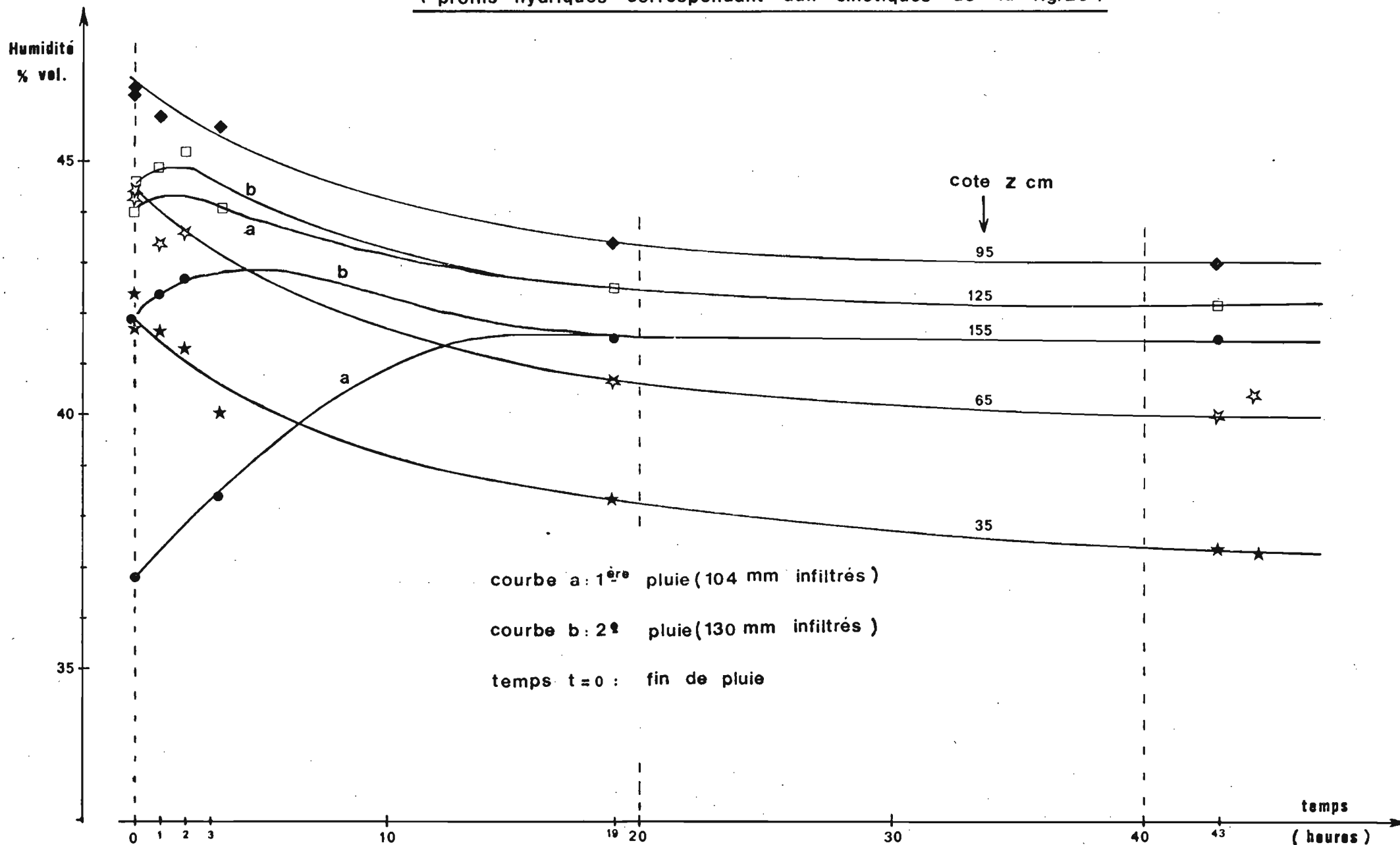


Fig. 28 VARIATION DU STOCK HYDRIQUE S, EN mm D'EAU,
ENTRE LA SURFACE DU SOL ET UN NIVEAU DE
REFERENCE Z, DURANT L'ESSAI DE DRAINAGE INTERNE
SUR LE SOL CULTIVE DE SOULA

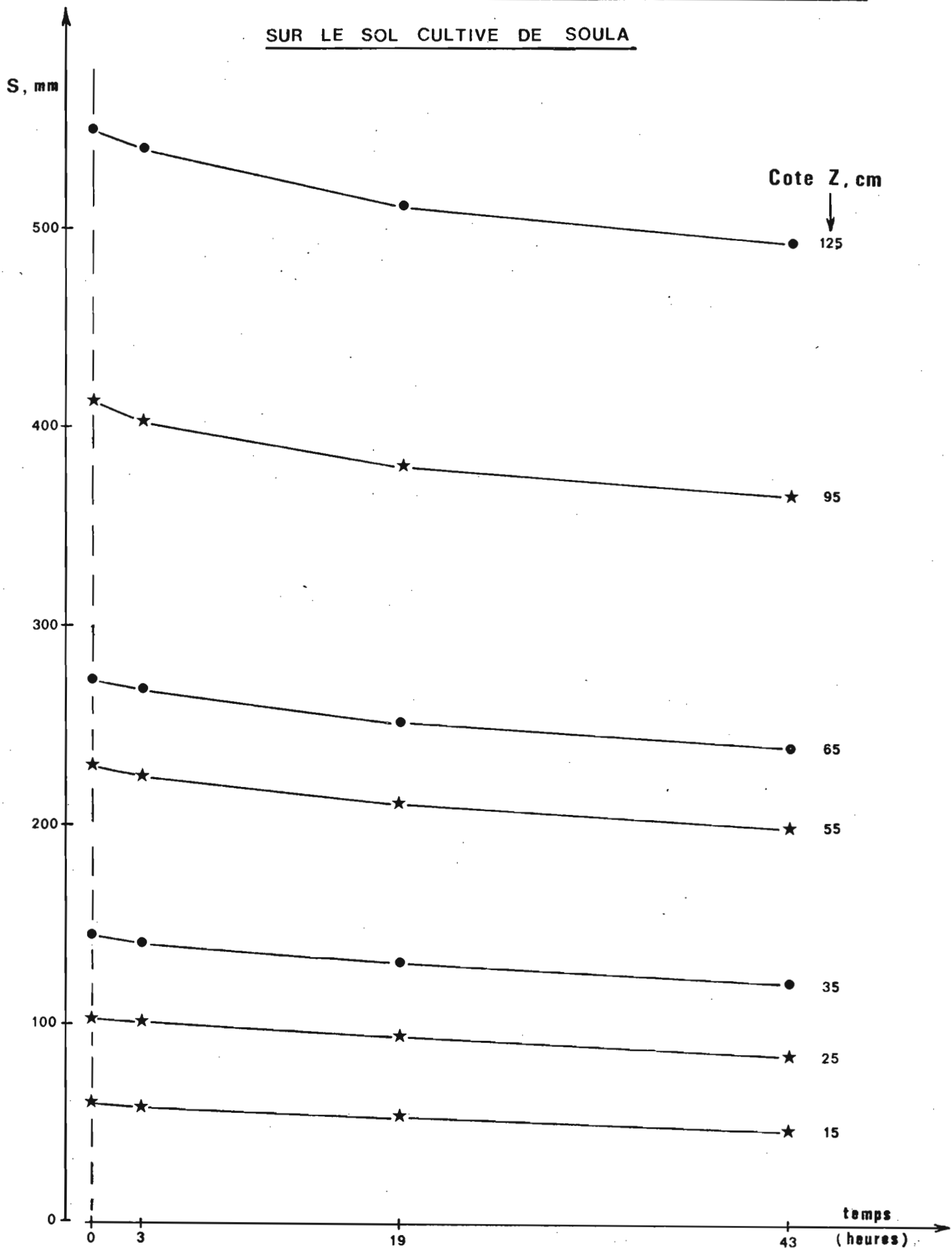
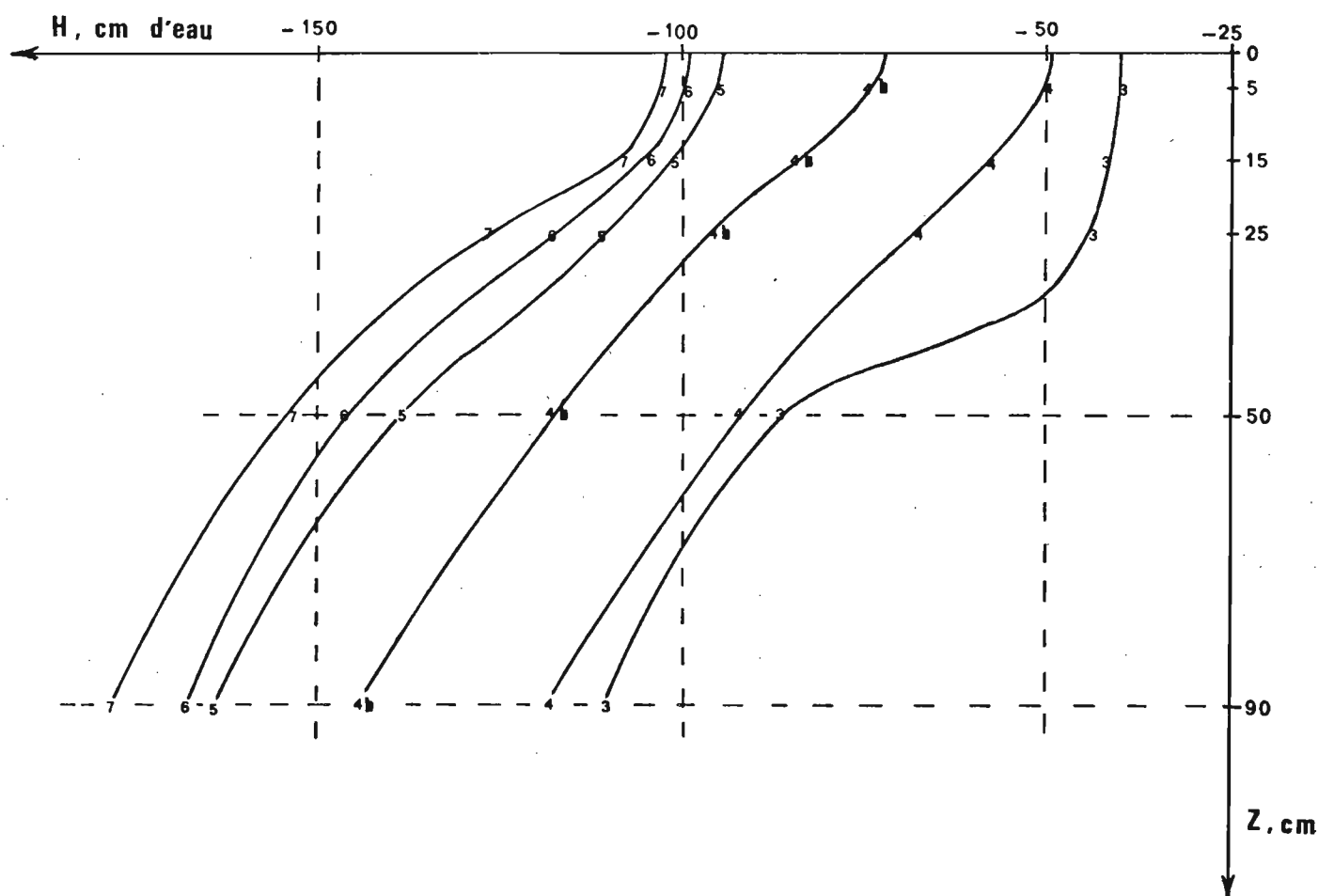


Fig. 29 —

QUELQUES PROFILS DE CHARGES HYDRAULIQUES
DURANT L'ESSAI DE DRAINAGE INTERNE SUR
LE SOL CULTIVE DE SOULA.

(correspondant aux profils hydriques de la fig. 26)



Chronologie des relevés :

Infiltration d'une 1^{ère} pluie (104 mm infiltrés)
21 h. auparavant.

- 3 — 0 h. après 2^{ème} pluie (130 mm infiltrés)
- 4 — 3 h. ---- ++ ----
- 4b — 19 h. ---- ++ ----
- 5 — 43 h. ---- ++ ----
- 6 — 61 h. ---- ++ ----
- 7 — 67 h. ---- ++ ----

Les courbes $h(\theta)$ sont déduites de la figure 29 connaissant les cotes d'implantation des tensiomètres. Nous rappelons la relation : $H = h - Z$.

Le tableau ci-dessous donne un exemple de dépouillement pour la cote $Z = 25$ cm.

Tableau 7 : Calcul des relations $K(\theta)$ et $h(\theta)$ pour la cote $Z = 25$ cm sur le sol cultivé de Soula.

t (heures)	θ (% vol.)	h (cm d'eau)	dS/dt (mm/h)	dH/dZ	K (mm/h)
0	42,5	-19			
3	41,7	-43	0,66	-1,02	0,64
19	39,4	-71	0,42	-1,08	0,38
43	36,9	-86	0,21	-0,98	0,21
51	36,4	-93	0,13	-1,2	0,10

Les courbes $K(\theta)$ et $h(\theta)$ sont représentées respectivement sur les figures 30 et 31.

Ces courbes montrent que vis-à-vis du drainage des eaux, le sol de Soula est hétérogène. Les relations $K(\theta)$ et $h(\theta)$ diffèrent selon les profondeurs d'observation. Les horizons de surface (section à 15 cm par exemple) drainent en permanence et les relations y sont plus nettes, les points apparemment mieux alignés sur une même courbe.

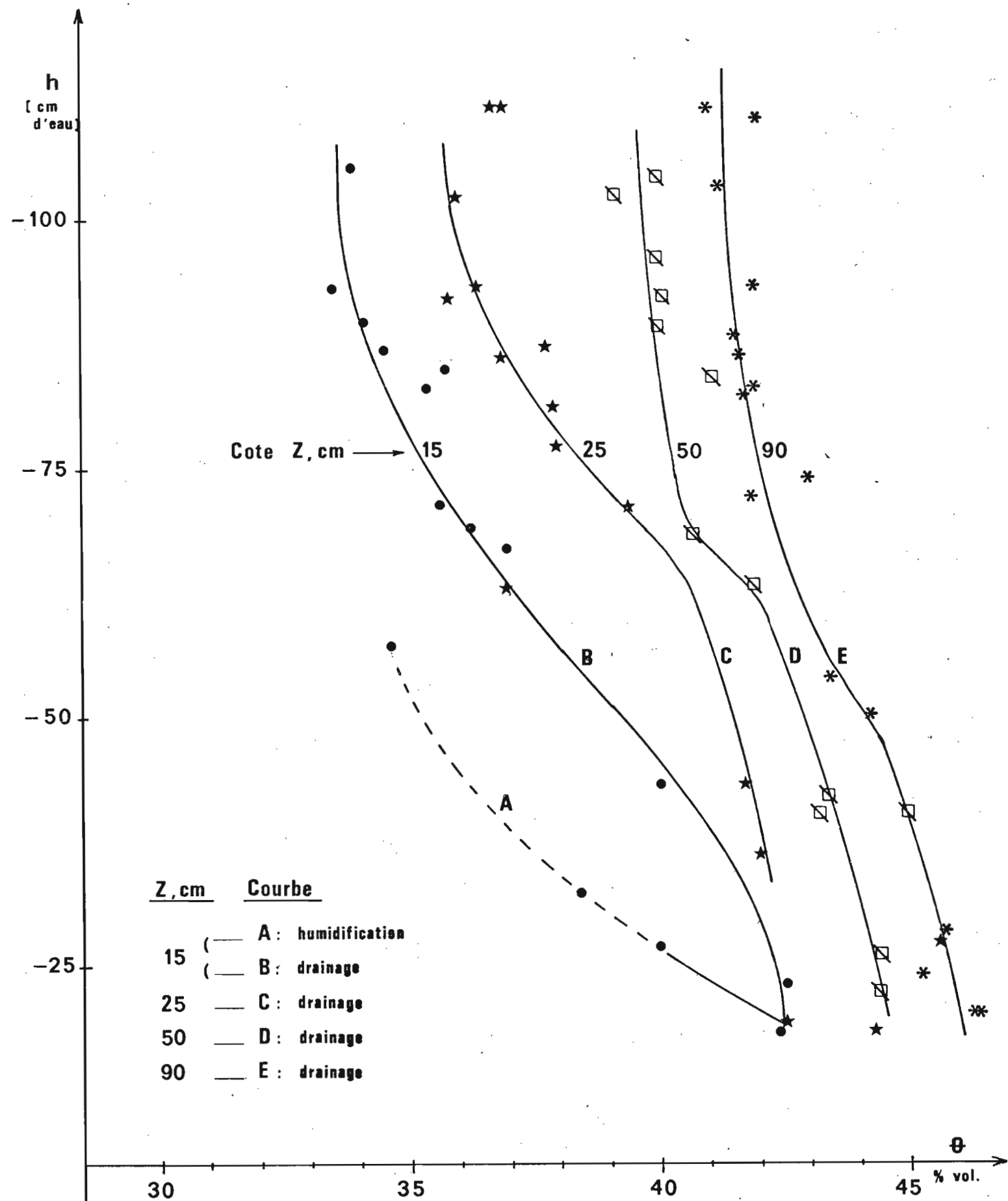
- Courbes de succion $h(\theta)$:

Après cinq jours de ressuyage, les horizons superficiels du sol sont relativement secs. Le deuxième train de pluie a permis de voir une hystérésis assez importante à 15 cm de profondeur, ce que nous avons matérialisé sur la figure 30 par la courbe A : Pour une pression effective de -30 cm d'eau, la teneur en eau de l'horizon est de l'ordre de 39% en phase d'humidification et de 42% en phase de dessiccation du sol.

A 25 cm de profondeur, les points sont très dispersés dans les basses pressions d'eau, indiquant aussi une hystérésis marquée au sein de cet horizon. Le phénomène n'a cependant pas été observé dans les horizons plus profonds qui n'ont pas eu le temps de se dessécher avant la deuxième série des pluies.

Nous remarquons d'autre part que dans les horizons sous-jacents, les courbes $h(\theta)$ ont tendance à se redresser : les variations de h deviennent plus fortes pour une même variation de θ .

Fig. 30 RELATIONS ENTRE PRESSION DE L'EAU (h) ET
TENEUR EN EAU (θ) OBTENUES LORS DE
L'ESSAI DE DRAINAGE INTERNE SUR LE
SOL CULTIVE DE SOULA (courbes de succion)



- Relations $K(\theta)$:

Les relations $K(\theta)$ du sol cultivé de Soula toutes sections confondues se localisent dans un domaine que nous avons hachuré sur la figure 31.

En régime de drainage, les conductivités hydrauliques sont plus fortes en profondeur que dans les horizons de surface. Elles restent cependant très faibles et ne dépassent guère 2 à 3 mm/h.

Les deux trains de pluies simulées sur la parcelle de mesure ont donné pour chaque niveau d'observation deux relations $K(\theta)$ qui sont surtout distinctes vers la surface du sol : pour une même conductivité hydraulique, les humidités sont plus fortes après les deuxièmes pluies. A cela il y aurait deux explications :

- . Le sol a augmenté de volume avec l'humidification (présence d'argile gonflante), réduisant les infiltrations. Cette hypothèse est à vérifier (nous attendons les résultats d'analyses d'argile), elle semble cependant peu plausible à cause du bon drainage du sol et d'un complexe absorbant fortement désaturé (cf. analyses chimiques).
- . Le profil, et surtout les horizons profonds étant plus humides avant les deuxièmes pluies, les infiltrations sont ralenties.

3.8.2.3. Conclusion

L'étude du drainage interne a permis de voir que sur le sol cultivé de Soula il se produit des infiltrations latérales au moment des pluies simulées. Il semble que les valeurs assez élevées trouvées (25 à 30% sur sol sec et 60 à 70% sur sol humide) soient liées à une surface de garde insuffisante. Dans les conditions de pluie naturelle, des transferts latéraux d'une telle importance seraient donc peu probables.

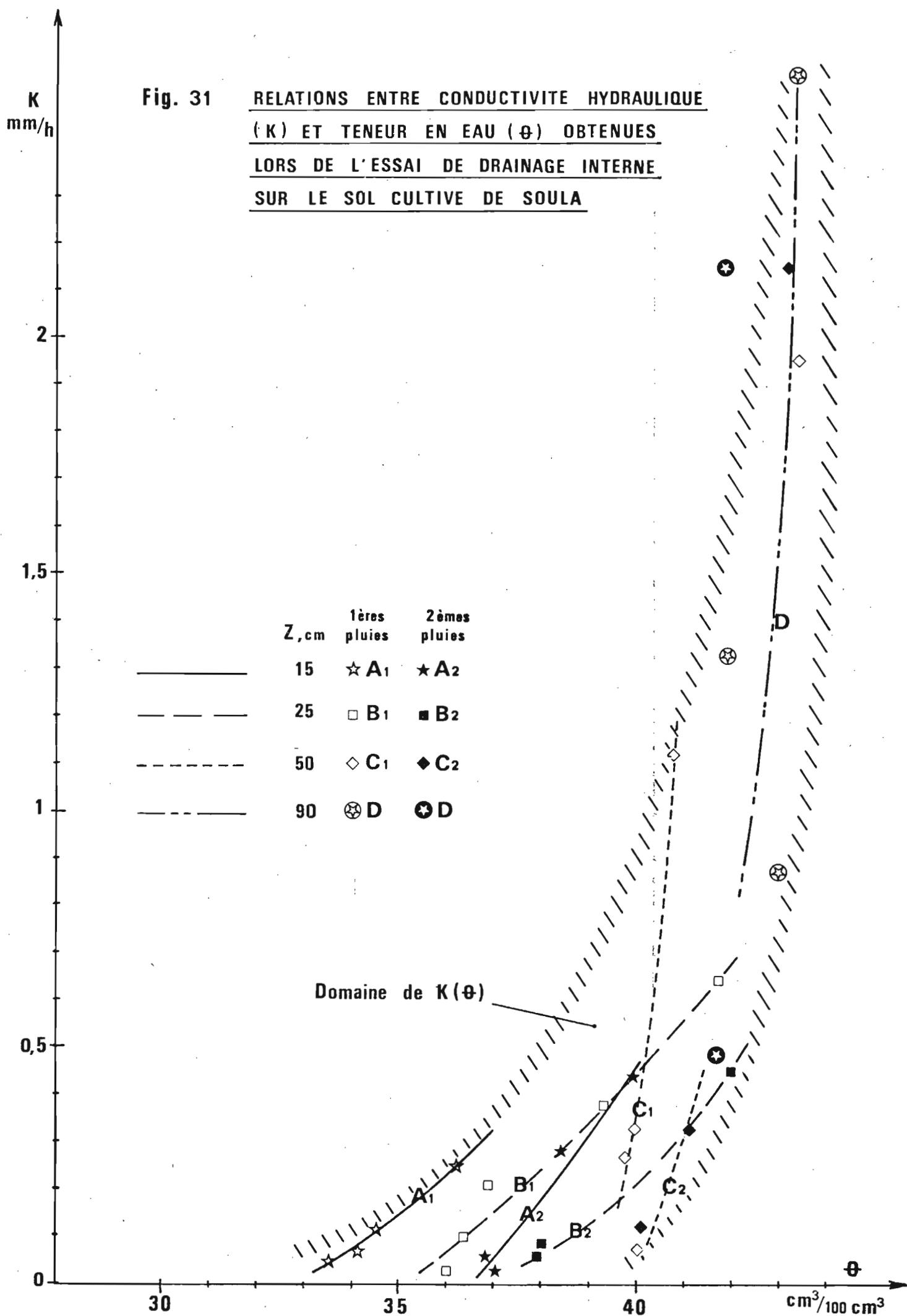
Après les pluies, les transferts d'eau se font cependant dans la seule direction verticale.

Le sol de Soula, malgré son aspect apparemment homogène est en fait un milieu qui réagit différemment à un apport d'eau dans ses différentes profondeurs.

Les caractéristiques hydrodynamiques ainsi définies demandent à être précisées surtout par des observations sur une plus longue durée qui pourrait démarrer dès la fin de la saison des pluies afin d'obtenir un ressuyage plus poussé de tout le profil.

Fig. 31

RELATIONS ENTRE CONDUCTIVITE HYDRAULIQUE
(K) ET TENEUR EN EAU (θ) OBTENUES
LORS DE L'ESSAI DE DRAINAGE INTERNE
SUR LE SOL CULTIVE DE SOULA



4. LES PROPRIETES CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES

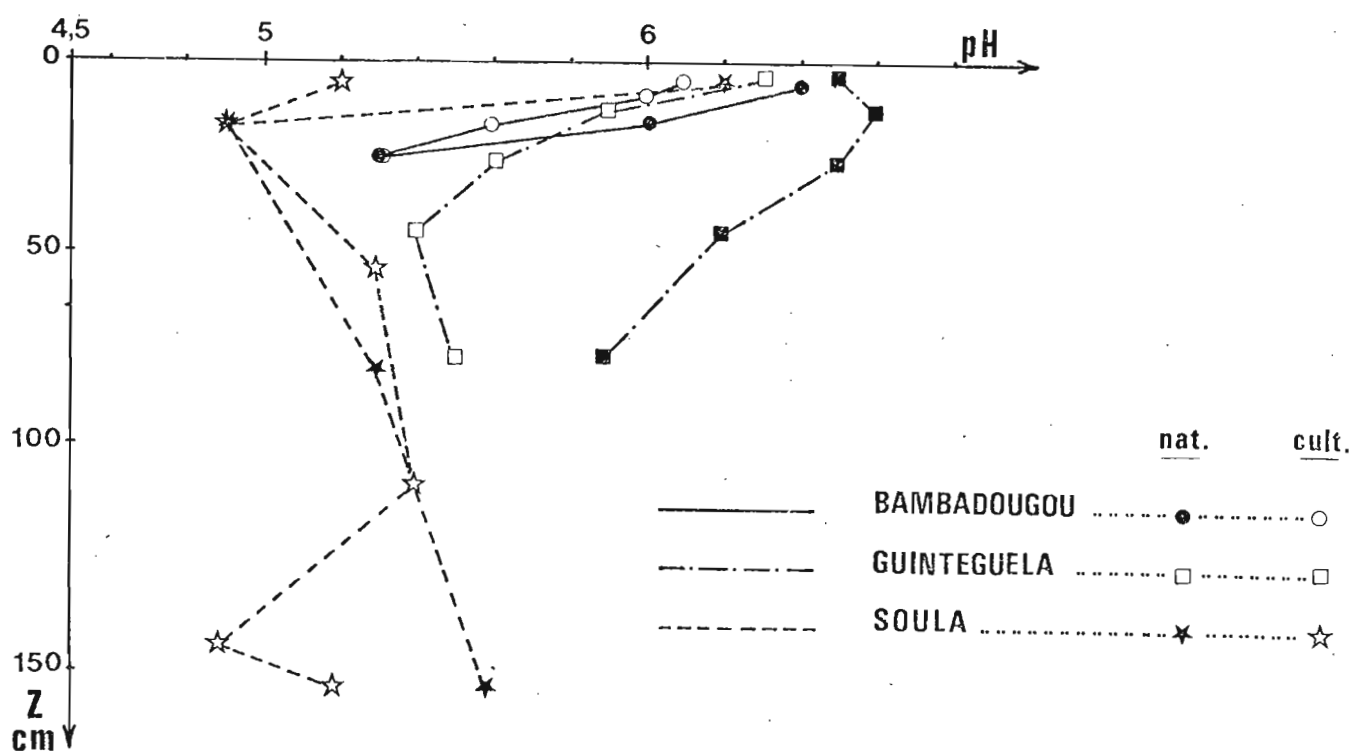
Les propriétés chimiques présentées ici ont été déterminées au laboratoire tandis que les caractères biologiques sont des données relevées sur le terrain.

Les interprétations des analyses seront faites selon les normes de DABIN (1968) et de RIQUIER (1956).

4.1. pH

Sur les trois couples de sols, les échantillons ont été prélevés en saison sèche. Les résultats sont représentés sur la figure 32 ci-dessous (pH-eau).

Fig. 32 — pH-EAU DES 3 COUPLES DE SOLS.



Nous constatons que les 3 sols se répartissent en deux groupes distincts : les sols formés sur roches acides (Bambadouguou et Guintéguela) sont moins acides (pH 6,0 à 6,5) que le sol de Soula formé sur roche basique (pH 4,9 à 5,3).

Dans les trois cas, la mise en culture a entraîné une acidification des sols. C'est à Soula que le pH a le plus baissé : réduction d'une unité après trois années de culture, passant de pH 6,2 à 5,2 dans les 10 premiers centimètres du sol. En général

le pH des sols baisse en saison des pluies, c'est-à-dire au moment des cultures (DUCHAUFOR, 1965). Le sol de Soula est alors très fortement acide. Nous touchons peut-être là à l'une des raisons ayant entraîné l'échec des deux cultures précédentes du riz sur ce terrain. Le pH optimal à cette culture est en effet indiqué pour se situer entre 5,5 et 6,5 (BOUYER et DABIN, 1963 ; GRANT, 1964). Les pH des sols de Guintéguela et de Bambadougou semblent par contre convenir à la culture cotonnière (KILIAN, 1964).

Les valeurs des pH au KCl des horizons de surface sont inférieures de 0,5 à 1 unité par rapport aux pH-eau. Les plus grandes différences sont enregistrées sur le sol de Bambadougou. Ces différences sont très faibles ou nulles en profondeur.

4.2. MATIERES ORGANIQUES

4.2.1. Carbone total

Le dosage du carbone organique a été fait par oxydation sulfochromique à froid (méthode Walkey et Black) et titrage par retour de l'excès d'oxydant.

En milieu naturel, le taux de matière organique est élevé sur les deux sols (les plus argileux) de Soula et de Guintéguela : 53 % en surface. Il est de 30% sur le sol (plus sableux) de Bambadougou. Ces teneurs baissent régulièrement en profondeur pour se maintenir entre 10 et 12%.

Après deux années de culture, ces taux ont baissé de 30% environ sur les deux sols les mieux pourvus, et de 60% à Bambadougou. Ainsi le sol de Bambadougou est doublement défavorisé. La faible quantité de matière organique (carbone total) et d'argile expliquerait la structuration médiocre de ce sol en surface et sa grande sensibilité à l'érosion (formation rapide de dermilite et d'épilite sur sol cultivé).

Les teneurs en carbone total des déjections de ver de terre ramassées en surface sont plus élevées que celles observées dans le sol (cf. annexe 2).

4.2.2. Azote

Nous présenterons successivement les résultats des analyses de l'azote total et de l'azote minéral du sol.

4.2.2.1. Azote total

Il est déterminé par la minéralisation de Kjeldahl et colorimétrie du bleu d'indophénol au Technicon (réaction de Berthelot).

Les teneurs en azote total suivent la même répartition que pour la matière organique dans les trois couples de sols. Sur le plan de la fertilité, les valeurs trouvées donnent, en fonction des pH respectifs les appréciations suivantes (DABIN, 1968) :

- Guintéguela et Soula : exceptionnellement riches en azote (2 ‰) dans l'appumite du milieu naturel, et encore riche ou très riche (1,35 à 1,55 ‰) dans l'arumite supérieur du milieu cultivé.
- Bambadougou : bonne teneur (1,2 ‰) en azote total dans l'appumite, et teneur moyenne (0,5 ‰) dans l'arumite.

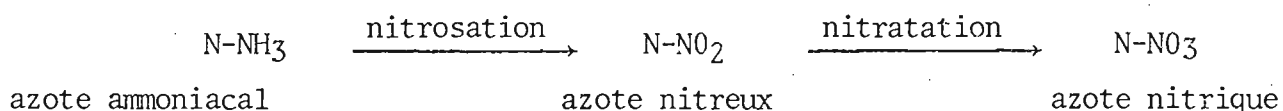
Il y a donc là aussi une diminution des teneurs en azote par la mise en culture, cette diminution étant surtout marquée à Bambadougou.

4.2.2.2. Rapport C/N

Les rapports C/N s'établissent ainsi autour de 14 à 15 pour Bambadougou et Guintéguela, et 16 à 17 pour Soula.

4.2.2.3. Azote ammoniacal et nitrique

L'intérêt de cette détermination est que l'azote minéral (ammoniacal et nitrique) résultant de la minéralisation de la matière organique fraîche et de l'humus constitue la source principale de l'alimentation azotée des plantes (DUCHAUFOR, 1965). En schématisant, l'humus libère de l'ammoniaque qui, sous l'action de germes aérobies s'oxyde en nitrites (souvent toxiques pour les plantes) puis en nitrates : c'est la nitrification.



Afin d'étudier ces transformations, nous suivons trois démarches distinctes : la première consiste à doser les nitrites et les nitrates immédiatement sur le terrain. Les deux suivantes estiment la durée de ces oxydations dans des conditions standard de laboratoire (incubations en milieu aéré ou en milieu liquide). Nous ne pouvons présenter, à l'heure actuelle que les résultats des analyses de terrain et des déterminations au laboratoire de N-NH₃ et N-NO₃ sur échantillon initial.

a) Analyses de terrain

VALENTIN a comparé les teneurs en nitrates sous témoin naturel, en milieu cultivé (dans les cinq premiers centimètres) et dans les v/zoolites (déjections de ver de terre) ramassés à la surface du sol. Les déterminations ont été faites au moyen de la Trousse HACH NI.12. Les résultats figurent dans le tableau n°8 :

Tableau 8 : Comparaison des teneurs en nitrates des horizons de surface sur les 3 couples de sols.
(Mesures faites sur le terrain) et Densité des v/zoolites.

		Bambadougou	Soula	Guintéguéla
$\frac{N-NO_3 \text{ cultivé}}{N-NO_3 \text{ naturel}}$	=	1,87	1,83	1,56
$\frac{N-NO_3 \text{ déjections}}{N-NO_3 \text{ naturel}}$	=	2,07	1,49	1,11
densité des v/zoolites (Kg sec/m ²)	=	0,87	0,83	0,52

A Guintéguéla il nous a été possible de comparer les teneurs en nitrites et en nitrates sur témoin naturel, en milieu cultivé et dans les déjections des vers :

		<u>Témoin naturel</u>	<u>Milieu cultivé</u>	<u>déjections</u>
$\frac{N-NO_2 \cdot 10^3}{N-NO_3}$	=	12,1	1,5	4,6

Ces valeurs montrent que l'activité nitrificatrice serait plus forte en milieu cultivé qu'en milieu naturel. Elle serait en effet favorisée par l'augmentation des échanges gazeux. Cette différence de vitesse de nitrification ajoutée aux apports d'engrais pour les besoins des cultures expliqueraient les teneurs près de deux fois plus fortes trouvées en milieu cultivé.

La nitrification plus intense dans les v/zoolites que sur témoin naturel serait due à leur plus grande richesse en base (cf. 4.3.1.).

Nous remarquons enfin que plus l'activité des vers de terre est importante, plus les teneurs en nitrates sont élevées par rapport au milieu naturel.

b) Analyses de laboratoire

Le dosage au laboratoire a été fait au Technicon sur l'extrait au KCl normal.

Le tableau ci-dessous montre les teneurs en ammoniacque et en nitrates et leur évolution avec la mise en culture dans les horizons superficiel des trois sols :

Tableau 9 : Azote minéral dans les horizons superficiels
des 3 couples de sols

(en 10^{-5})

	N-NH ₃			N-NO ₃		
	Naturel	$\Delta\%$	Cultivé	Naturel	$\Delta\%$	Cultivé
Bambadougou 0-8 cm	0,7	-11	0,62	0,04	+ 550	0,26
Soula 0-10 cm	1,12	- 7	1,04	0,04	+1850	0,78
Guintéguéla 0-5 cm	1,32	- 8	1,21	2,34	- 51	1,14
Guintéguéla 5-12 cm	0,82	-34	0,54	0,20	+220	0,64

Les teneurs en azote ammoniacal diminuent légèrement avec la mise en culture tandis que l'azote nitrique augmente très fortement. Nous retrouvons donc l'augmentation de l'activité nitrificatrice avec le travail du sol.

Les échantillons de sol de Guintéguéla étaient prélevés quelques jours après une petite pluie tombée à la fin de la saison sèche, ce qui explique la teneur anormalement élevée en azote nitrique par rapport aux sols de Bambadougou et de Guintéguéla.

Dans les v/zoolites, les teneurs en azote ammoniacal et en azote nitrique sont, dans une proportion égale, plus fortes par rapport aux témoins naturels : 1,5 fois plus élevées à Bambadougou, et 3 fois plus fortes à Soula.

4.3. COMPLEXE ABSORBANT

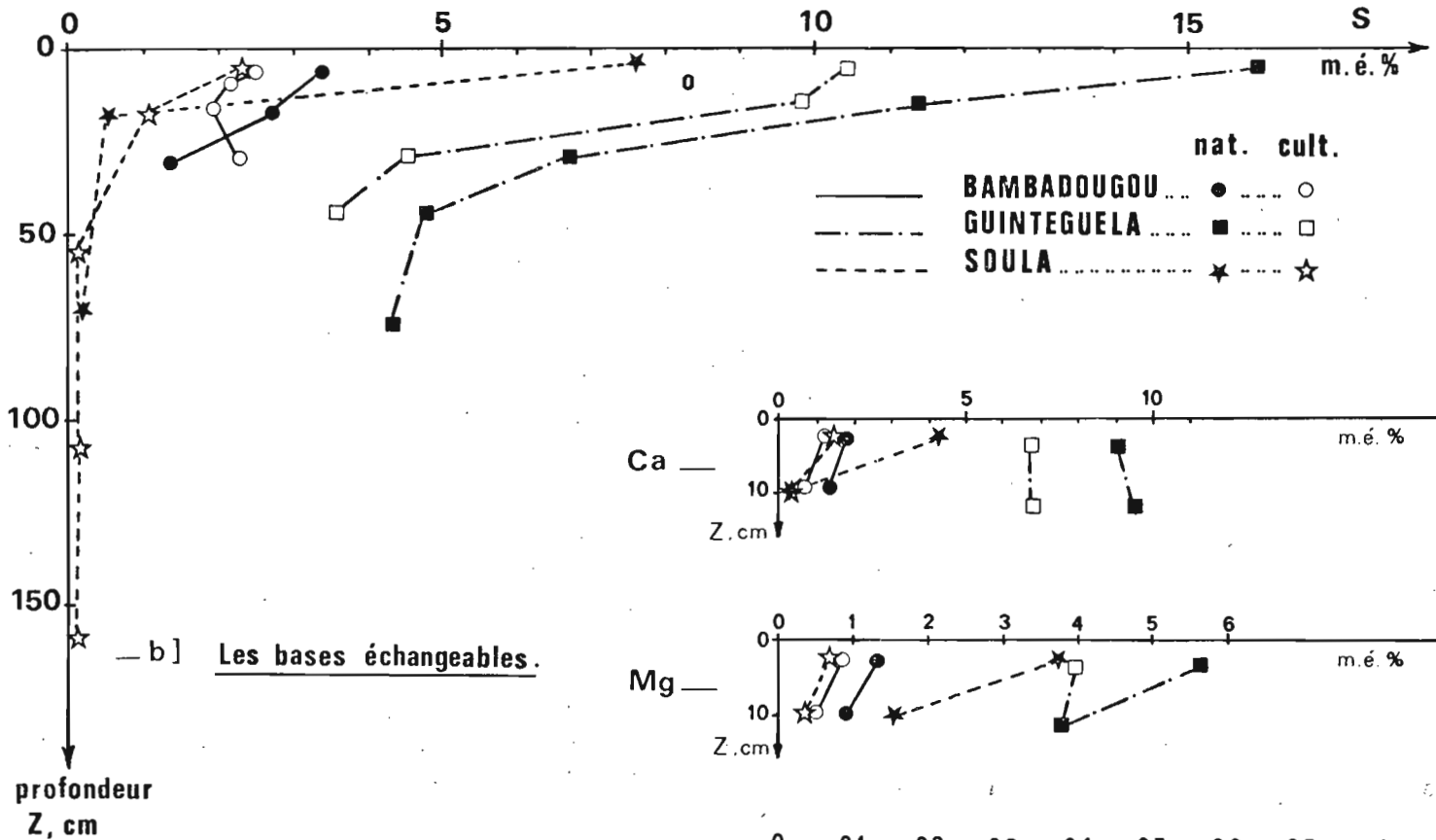
4.3.1. Cations échangeables

La somme des bases échangeables est élevée sur le sol de Guintéguéla (cf. fig. 33a). En cela il se distingue nettement des deux autres sols. Le sol de Soula est le moins bien pourvu avec moins de 1 méq/100 g dans les horizons sous-jacents à l'appumite. Ces différentes teneurs et les valeurs de pH trouvées précédemment permettent de classer les 3 sites étudiés comme suit:

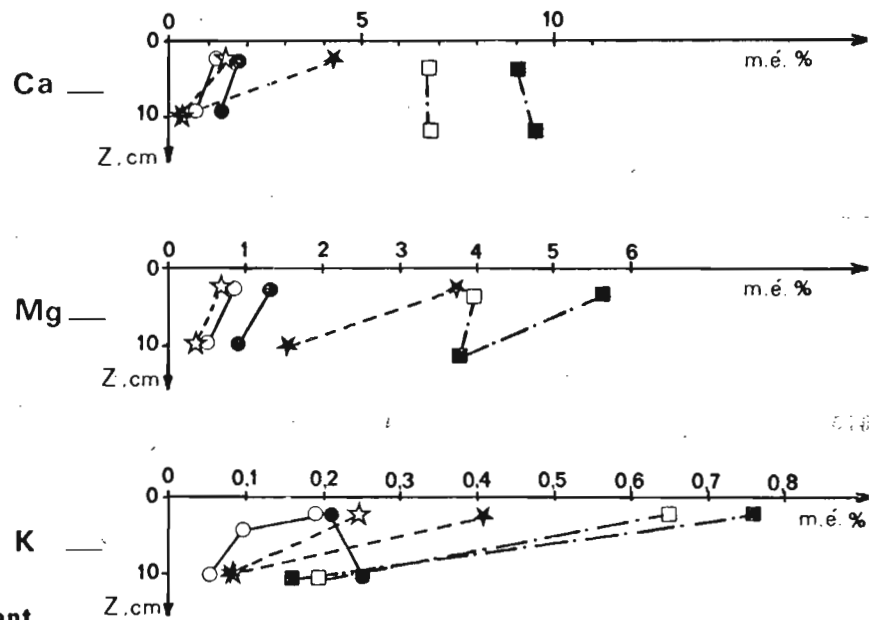
- . Guintéguéla : sol ferrallitique faiblement désaturé, remanié, induré
- . Bambadougou : sol ferrallitique moyennement désaturé, typique, faiblement remanié
- . Soula : sol ferrallitique fortement désaturé, remanié, colluvionné.

Fig. 33 — LE COMPLEXE ABSORBANT.

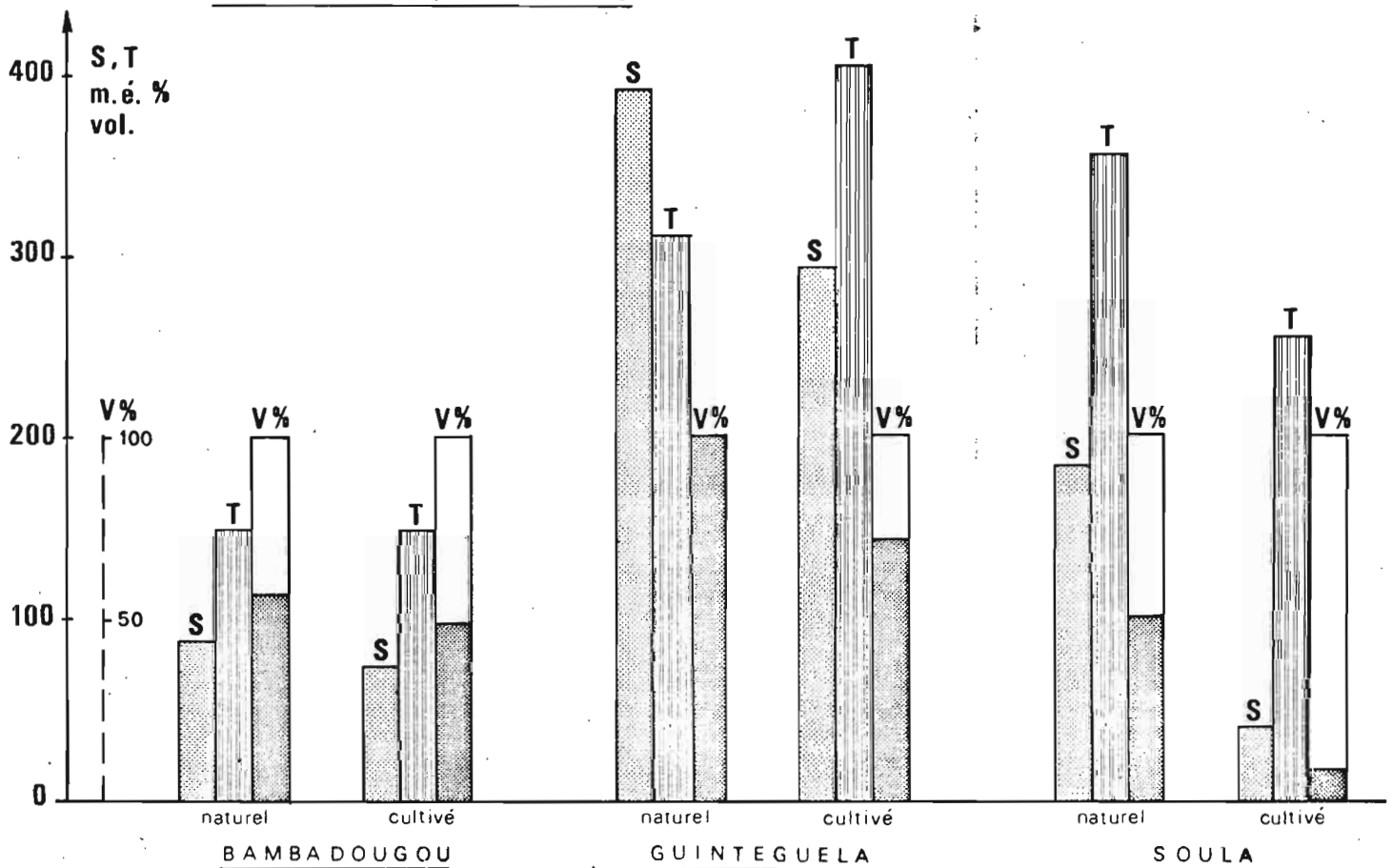
— a) La somme des bases échangeables.



— b) Les bases échangeables.



— c) Evolution du complexe absorbant des horizons superficiels avec la mise en culture (20 cm de sol).



Le sol de Guintéguela est très riche en Calcium, Magnésium et Potassium ; il le reste en sol cultivé et aussi dans les niveaux inférieurs (cf. fig. 33b), sauf pour le Potassium qui baisse à 0,16m.éq. dès 7 cm de profondeur.

A Bambadougou, les teneurs en éléments échangeables sont faibles mais ces valeurs correspondent à une richesse moyenne sinon à une bonne richesse du sol à cause de sa texture plutôt sableuse. Les baisses par suite de la mise en culture se chiffrent à environ la moitié des teneurs initiales.

A Soula, seul l'appumite sous végétation naturelle est relativement bien pourvu en éléments échangeables. Les teneurs baissent brutalement en-dessous des 10 premiers centimètres du sol, ce qui explique les fortes baisses relevées en milieu cultivé : les travaux culturaux ont mélangé la terre sous-jacente chimiquement pauvre à l'appumite. Par ailleurs une lixiviation au sein de cet horizon très perméable reste probable. La mise en valeur de ce sol nécessiterait alors une fertilisation plus élevée que ne le réclament les sols de Bambadougou et de Guintéguela.

Les déjections de ver de terre ramassées en surface ont des teneurs en bases échangeables nettement plus élevées à Bambadougou qu'à Soula par rapport au sol de l'appumite (annexe 2).

4.3.2. Capacité d'échange et taux de saturation

La capacité d'échange est de l'ordre de 5 à 6 m.éq/100g à Bambadougou, 10 à 12 m.éq/100 g à Guintéguela et 12 à 15 m.éq/100g à Soula. Elle varie peu en passant des horizons supérieurs vers les horizons inférieurs sur les 2 premiers sites tandis qu'elle est pratiquement réduite de moitié sur le sol de Soula.

Sur sol cultivé, la capacité d'échange de l'horizon superficiel est plus faible que sur le témoin naturel à Bambadougou (perte en éléments fins et réduction des teneurs en matière organique) tandis qu'elle est plus forte à Guintéguela (sol plus argileux). A Soula, la capacité d'échange a baissé avec la teneur en matière organique malgré une texture nettement plus argileuse. Ceci montre que la capacité d'échange de ce sol dépend fortement de la teneur en matière organique.

Le taux de saturation est ainsi de l'ordre de 60% à Bambadougou, 70% à Guintéguela (complexe saturé dans l'appumite du sol naturel), et entre 2 et 10% à Soula (50% dans l'appumite et 20% dans l'arumite).

La figure 33c schématise la transformation subie par le complexe absorbant des horizons superficiels avec la mise en culture. Les valeurs sont données en % de volume et calculées pour 20 cm.

La différence entre les 3 sites étudiés apparaît nettement sur cette figure, donnant au sol cultivé de Soula une fertilité chimique médiocre. L'écart constaté entre sol cultivé et sol sous végétation naturelle sur ce même sol montre que son potentiel chimique initial est très fragile. Le sol de Bambadougou serait de richesse moyenne tandis que celui de Guintéguela est le plus riche.

4.4. PHOSPHORE

Nous avons fait analyser les teneurs en phosphore assimilable et phosphore total des trois sols.

4.4.1. Phosphore assimilable

La méthode utilisée pour cette détermination est celle de Olsen modifiée Dabin.

Le sol de Bambadougou se distingue par une teneur plus élevée (0,09 ‰) en surface que sur les deux autres sites (0,04 à 0,05 ‰). En profondeur, ces teneurs varient de 0,01 à 0,03 ‰. En milieu cultivé, nous retrouvons des valeurs analogues à celles trouvées en milieu naturel. La teneur critique étant de l'ordre de 0,05 ‰ pour le phosphore assimilable, la mise en culture de ces sols nécessiterait donc un apport d'engrais phosphaté, au moins sur les sols de Soula et de Guintéguéla.

4.4.2. Phosphore total

Après attaque nitrique, le dosage est fait par colorimétrie au Technicon.

Les teneurs en phosphore total sont comprises entre 0,3 et 0,7 ‰ sur les 3 couples de sols. Elles sont suffisantes pour l'alimentation des plantes à Bambadougou où le sol est plus sableux et pas très riche en azote. Ces teneurs constituent cependant des niveaux moyens à Guintéguéla et à Soula.

4.5. FER

Le fer libre a été déterminé par la méthode de Endredy et le fer total par attaque à l'acide chlorhydrique concentré, principalement dans les horizons superficiels des 3 couples de sols. Les teneurs moyennes sont les suivantes (en ‰) :

Tableau 10 : Teneurs moyennes en fer des 3 sols

	BAM	GUI	SOU
Fer libre	2	6	5
Fer total	3	8	20

Le sol de Soula est donc le plus riche en fer et celui de Bambadougou le moins riche. Rappelons que les teneurs en matière organique suivaient le même ordre. Si ces données peuvent constituer une explication partielle aux comportements des structures observées sur ces deux sols, elles restent cependant insuffisantes.

4.6. BASES TOTALES

Elles sont déterminées après attaque fluo-perchlorique :

- Ca et Mg par spectrométrie d'absorption atomique
- Na et K par photométrie de flamme.

Les valeurs moyennes suivantes ont été trouvées sur les 3 sites (cf. annexe 2).

Tableau 11 : Teneurs moyennes en bases totales des 3 sols.

Eléments m.éq/100 g	BAM	GUI	SOU
Calcium*	3	11	2
Magnésium	12	8	7
Potassium	9	5	2

* Teneur moyenne sur sol cultivé

Parmi les 3 sols, celui de Guintéguéla est le mieux pourvu, riche en bases totales. A Bambadougou, les réserves sont très élevées en Mg et K mais faibles en Ca. Le sol de Soula est pauvre en Ca et K, il est moyennement riche en Mg.

La mise en culture a baissé de 3 à 4 m.éq/100 g les teneurs en Calcium des dix premiers centimètres du sol, tandis que le Magnésium et le Potassium n'ont pas varié.

Ici aussi nous retrouvons donc le bon potentiel du sol de Guintéguéla et la pauvreté du sol de Soula.

4.7. VERS DE TERRE

L'action des vers de terre dans un sol est très souvent bénéfique : ameublissement, apport d'éléments fins et de bases en surface etc... Il convient par conséquent d'étudier l'importance des populations et d'évaluer leurs effets sur les sols.

Opérant en saison sèche, il nous a été impossible d'effectuer des extractions afin d'estimer la densité des vers et de déterminer leurs espèces. Nous nous sommes contentés de mesurer la densité des déjections qui couvrent la surface du sol. Les prélèvements ont eu lieu dans des cercles de 1000 cm².

Les résultats sont déjà donnés au paragraphe 4.2.2.3. Les densités sont de (médiane de 5 mesures, en Kg sec/m²) :

- . Bambadougou : 0,87
- . Soula : 0,83
- . Guintéguéla : 0,52

Aucune déjection n'a été relevée sur la surface des parcelles cultivées. Les extractions devraient confirmer l'absence de vers en milieu cultivé. L'effet des travaux du sol serait un préjudice important apporté au biotope. D'après plusieurs auteurs (EVANS et GUILD, 1948), la dénudation ainsi que l'action mécanique de la charrue seraient les principales responsables de la disparition des vers dans les champs cultivés.

Il semble que la densité des déjections soit en relation avec la couverture graminéenne observée sur le terrain. C'est le site où les arbres sont les plus abondants, et donc la strate herbacée la moins représentée (Guintéguéla) que la concentration de déjections par mètre-carré est la moins forte. Les vers de terre seraient en effet très sensibles aux températures élevées de l'horizon superficiel.

4.8. DENSITE RACINAIRE

L'examen de l'enracinement de la végétation naturelle permet d'apprécier les contraintes édaphiques du sol. En milieu cultivé, il entraîne un jugement sur la qualité du travail du sol. Nous n'abordons ici que le problème du pédologue appelé à quantifier de visu les densités racinaires des horizons observés sur un profil. Pour améliorer cette estimation souvent très subjective, nous avons prélevé sur chaque profil, cinq monolithes (20 cm x 10 cm). Pour chaque horizon, les racines sont triées à la main, en séparant les racines fines et blanches des racines brunes lignifiées ; les premières étant considérées comme assimilatrices et les secondes comme conductrices (brachyrhizes et macrorhizes).

Les résultats (fig. 34) font apparaître des densités racinaires très importantes au-dessus du pétro-stérile de Bamba-dougou, y compris dans le gravolite. Dans l'ensemble des cas, la densité des racines assimilatrices diminue exponentiellement avec la profondeur ; les racines conductrices semblent suivre une répartition plus aléatoire (Soula).

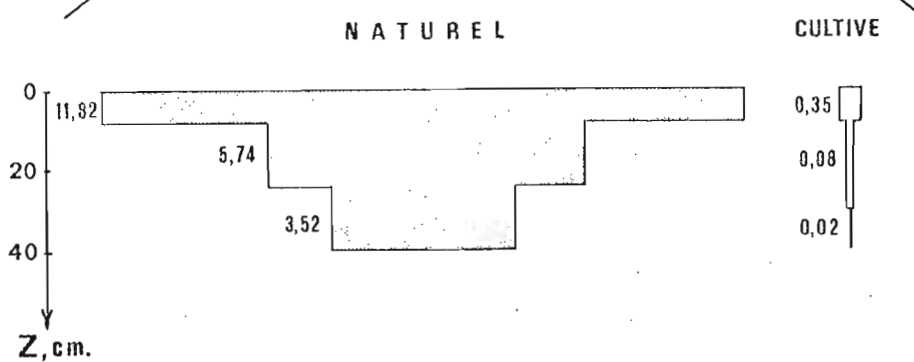
L'examen du rapport racines conductrices/racines totales sur le sol de Soula (fig. 34) montre une concentration de racines assimilatrices au-dessus du fond de labour (inversion par rapport au milieu naturel). Ce résultat est confirmé par l'examen du profil cultural : seules les racines conductrices arrivent à traverser le fond de labour, au prix de contournements qui doivent ralentir leur croissance.

Ainsi, le labour à Soula, en plus des inconvénients déjà mentionnés, aurait tendance à limiter le volume exploitable par les racines assimilatrices. Il ne semble pas que les racines assimilatrices triées dans les horizons sous-jacents appartiennent à la culture de *Stylosanthes* ; elles seraient plutôt associées aux racines conductrices, reliques de la végétation naturelle présente avant le défrichement. La similitude des profils racinaires entre témoin naturel et milieu cultivé proviendrait de la lenteur de la disparition de ces racines reliques.

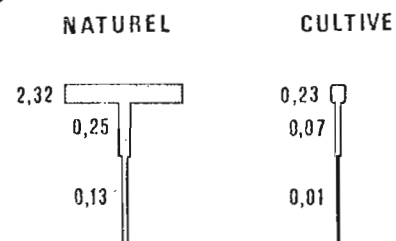
Fig. 34 — DENSITE RACINAIRE

(g. de M.S./dm³ de sol sec)

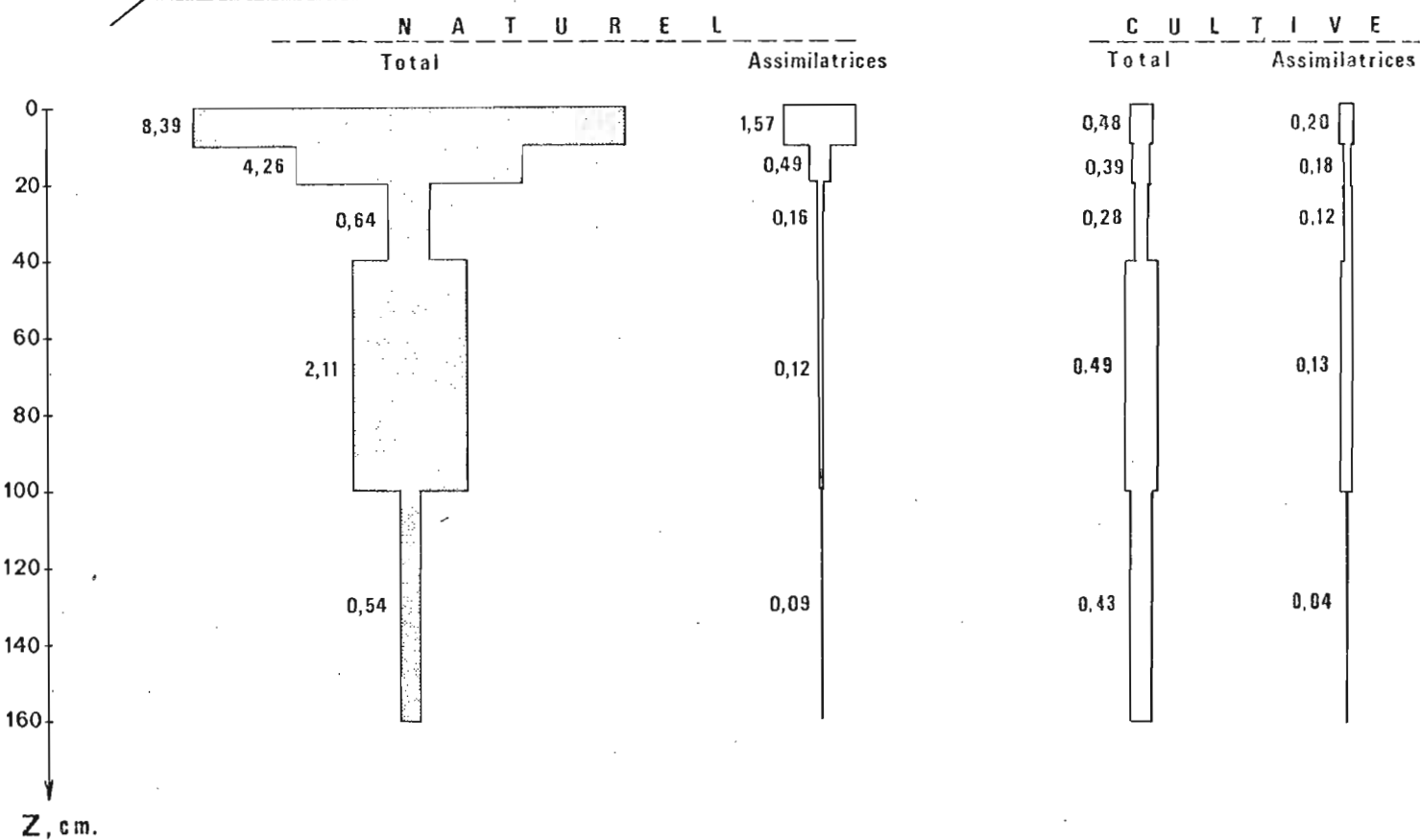
BAMBADOUGOU



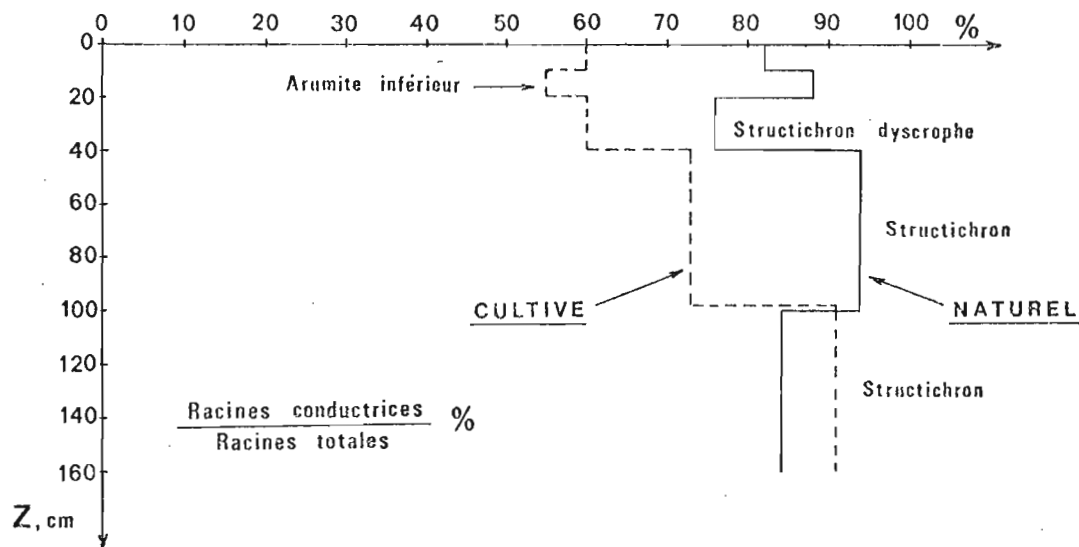
GUINTEGUELA



S O U L A



S O U L A



CONCLUSION

La présente étude a permis de déterminer les caractéristiques de 3 types de sols différents et leur état après deux années de mise en culture. Les techniques utilisées pour les différentes déterminations ont révélé que le travail du sol a entraîné des changements très nets des principales caractéristiques pédologiques et de l'environnement, particulièrement dans la zone proche de la surface du sol (métaplexion).

Ces modifications se manifestent par l'apparition de nouvelles organisations et traits pédologiques dont l'importance varie selon les sols. Le comportement de ces traits pédologiques semble expliquer les relations eau-sol-plante observées sur chacun des trois sites.

Au bilan il est apparu que le travail du sol a diminué les caractéristiques du sol :

- Du point de vue physique, l'ameublissement de l'horizon superficiel s'est généralement accompagnée de compactage de l'horizon sous-jacent et, dans le cas de Bambadougou et de Soula, de l'apparition d'un fond de labour lissé. Le labour entraînant un ameublissement excessif du sol de Soula, il serait peut-être nécessaire d'appliquer sur ce sol un travail cultural minimum et d'effectuer un roulage après semis (porosité très élevée).

- Le régime de l'eau est modifié dans le sens d'une augmentation (de 3 à 4 fois) de la perméabilité de l'horizon labouré par rapport à son équivalent naturel, et au contraire une réduction des infiltrations dans l'horizon compacté sous-jacent au labour.

Le système cultural actuel mettant le plus souvent le sol à nu, la formation d'épilite et de dermilite est favorisée (particulièrement abondants à Bambadougou), entraînant une réduction de l'infiltration des eaux pluviales au profit du ruissellement.

La diminution des réserves en eau du sol constitue également une conséquence de la mise en culture.

- Chimiquement le sol cultivé subit une acidification en surface en même temps que les teneurs en éléments fertilisants sont réduites. Soula qui a le potentiel chimique naturel le plus faible se trouve dans ce cas le plus rapidement épuisé.

Parmi les traits agro-pédologiques déterminants, la présence d'épilite et de dermilite, surtout s'ils se forment rapidement, l'observation d'un fond de labour lissé et d'un horizon sous-jacent compacté, le degré de salissement de la culture par les adventices... semblent constituer des indices de "faiblesse" du sol. Une enquête approfondie sur les antécédents culturels et les rendements obtenus devrait permettre par la suite une analyse plus fine des contraintes agronomiques.

Sur la base de nos observations, nous pourrions déjà avancer que le sol de Guintéguela, et à plus forte raison les sols plus profonds de la toposéquence (brachy-apexols) semblent le mieux convenir aux cultures pratiquées, suivi de Bambadougou et en dernier lieu de Soula.

Les résultats que nous avons obtenus montrent ainsi qu'un diagnostic agrologique basé sur la simple description d'un profil pédologique peut induire à des erreurs de jugement. A ce stade nous aurions en effet donné une préférence au sol profond et sans éléments grossiers de Soula (ortho-apexol) sur le sol peu épais, gravillonnaire et induré de Bambadougou (brachy-apexol) peu développé sur gravolite et pétro-stérile) et sur le sol encore moins profond de Guintéguéla (lepto-apexol sur gravolite et gravo-structi-altérile). Nous venons de voir qu'il en est différemment.

BIBLIOGRAPHIE

- ASSELINE J. et VALENTIN C., 1978.- Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion.
Cah. ORSTOM, Sér. Hydrol., 15, 4, 321-349.
- ATTERBERG A., 1911.- Über die physikalische Bodenuntersuchung.
Int. Mitt. für Bodenkunde, 1, 7-9.
- AUDRY P., COMBEAU A., HUMBEL F.X., ROOSE E. et VIZIER J.F., 1973.-
Essai sur les études de dynamique actuelle des sols.
Bull. gr. de trav. dyn. actuelle des sols, 2, ORSTOM, Paris.
- BEAUDOU A.G., 1977.- Note sur la quantification et le langage typologique.
Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 15, 1, 35-41.
- BEAUDOU A.G. et BLIC P. (de), 1978.- Etude typologique du complexe sol-plante en cultures intensives semi-mécanisées dans le Centre Ivoirien.
Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 16, 4.
- BEAUDOU A.G., BLIC P. (de), CHATELIN Y., COLLINET J., FILLERON J.C., GUILLAUMET J.L., KAHN F., ZUELI K.B. et RICHARD J.F., 1978.-
Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (Tropiques Humides).
Trav. et Doc. ORSTOM n° 91, Paris.
- BEAUDOU A.G. et CHATELIN Y., 1977.- Méthodologie de la représentation des volumes pédologiques - Typologie et cartographie en milieu ferrallitique.
Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 15, 1, 3-18.
- BEAUDOU A.G. et COLLINET J., 1977.- La diversité des volumes pédologiques cartographiables dans le domaine ferrallitique africain.
Cah. ORSTOM, Série Pédol., 15, 1, 19-34.
- BEAUDOU A.G. et SAYOL R., 1979.- Etude pédologique de la région de Boundiali-Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire). Méthodologie et typologie détaillée (morphologie et caractères analytiques).
Trav. et Doc. ORSTOM n° 112 (à paraître).
- BLIC P. (de), 1976.- Le comportement des sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire après défrichement et mise en culture mécanisée : rôle des traits hérités du milieu naturel.
Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 14, 2, 113-130.

- BLIC P. (de), 1978.- Morphologie et comportement mécanique des sols de la région centre en culture semi-mécanisée (Côte d'Ivoire).
ORSTOM, Adiopodoumé, 63p.
- BOIS J.F., 1977.- Mesure de l'humidité des sols des bassins versants expérimentaux de Sakassou à la sonde à neutrons. Etalonnage neutronique.
ORSTOM, Adiopodoumé, 5 p.
- BOUYER S. et DABIN B., 1963.- Etudes pédologiques du delta central du Niger.
Agron. Trop., 18, 12, 1300-1306.
- BRUNET-MORET Y., 1967.- Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale, République de Côte d'Ivoire.
ORSTOM - Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques, 20 p., 11 graph.
- CHATELIN Y. et MARTIN D., 1972.- Recherche d'une terminologie typologique applicable aux sols ferrallitiques.
Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 10, 1, 25-43.
- CHEVREAU B., 1978.- Connaissances agro-climatiques actuelles sur la région de Touba entre Bagbé et Bafing. Savanes de l'ouest de la Côte d'Ivoire.
CIDT - IDESSA - IRAT, Bouaké, 50p.
- COLLINET J. et VALENTIN C., 1979.- Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle. Nouvelles perspectives. Applications agronomiques.
ORSTOM, Adiopodoumé, 49p., 26 fig., 16 tabl.
- COUCHAT Ph., 1977.- Aspects méthodologiques et technologiques de la mesure neutronique de l'humidité des sols.
Ann. Agron., 28, 5, 477-488.
- DABIN B., 1968.- Principes d'estimation de la fertilité des sols. in Mémento de l'Agronome. - Ministère de la Coopération Française.
- DOUMENGE, 1979.- L'élevage en Côte d'Ivoire. in Atlas de la Côte d'Ivoire.
- DUCHAUFOR Ph., 1965.- Précis de pédologie.
Masson Ed. 481 p., Paris.
- DUCHEMIN J.P., 1979.- La densité de la population rurale en Côte d'Ivoire. in Atlas de la Côte d'Ivoire.

- DURLIN D. et YOBOUE M., 1975.- Rapport de prospection pédologique dans la région de Touba, Ouest Côte d'Ivoire.
IRAT, Bouaké.
- ELDIN M., 1971.- Le climat de la Côte d'Ivoire.
in : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire.
Mémoire ORSTOM n° 50, 73-108.
- ELDIN M. et DAUDET A., 1967.- Notice des cartes climatologiques de Côte d'Ivoire. Etude de reboisement et de protection des sols.
ORSTOM, Adiopodoumé.
- ESCHENBRENNER V. et BADARELLO L., 1975.- Notice explicative de la carte des paysages morpho-pédologiques. Feuille Odienné à 1/200.000.
ORSTOM, Adiopodoumé, 98p., 6 cartes h.t.
- EVANS A.C. et GUILD W.J. Mcl., 1948.- Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. IV. On the life cycles of some British Lumbricidae. V. Field populations. Ann. Appl. Biol., 35, 4, 471-484 et 485-493.
- GOUZY M., 1973.- L'analyse minérale des produits naturels : roches - sols - eaux - végétaux. Organisation et méthodes pour un laboratoire d'analyses de série. 4 tomes.
ORSTOM, Adiopodoumé.
- GRANT C.J., 1964.- Caractéristiques des sols liés à la culture irriguée du riz. Symposium sur la nutrition minérale du riz. Institut International de Recherches sur le Riz. Manille. Philippines, 23-28 Fév. 1964.
- GUILLAUMET J.L. et ADJANOHOOUN E., 1971.- La végétation de la Côte d'Ivoire.
in : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire.
Mém. ORSTOM, n° 50, 157-263.
- HAERINGER Ph., 1969.- Les cultures vivrières de base en Côte d'Ivoire.
in : Atlas de la Côte d'Ivoire.
- HENIN S., 1938.- Etude physico-chimique de la stabilité structurale des terres - Thèse, Paris.
- HENIN S., GRAS R. et MONNIER G., 1969.- Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques.
Masson Ed., Paris.
- HILLEL D., 1974.- L'eau et le sol. Principes et processus physiques
Vander Ed., Louvain.

- KILIAN J., 1964.- Etude pédologique des baibos de la Bemarivo, Madagascar.
Agron. Trop., 19, 11, 998-1017.
- MOREAU R., 1978.- Influence de l'ameublement mécanique et de l'infiltration d'eau sur la stabilité structurale d'un sol ferrallitique dans le Centre de la Côte d'Ivoire.
ORSTOM, Adiopodoumé, 15p.
- POSS R., 1978.- La dynamique de l'eau saturante dans les sols de la périphérie d'un inselberg en milieu ferrallitique de transition (Nord Côte d'Ivoire). Typologie des sols et tests hydrodynamiques.
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 16, 2, 131-154.
- RICHARD J.F., KAHN F. et CHATELIN Y., 1977.- Vocabulaire pour l'étude du milieu naturel (tropiques humides).
Cah. ORSTOM Sér. Pédol., 15, 1, 43-62.
- RICHARDS S.J. et MARSH A.W., 1961.- Irrigation based on soil suction measurements.
Soil. Sci. Soc. Proc. Amer., 25, 65-69.
- RIQUIER J., 1956.- Normes d'interprétation de richesse d'un sol d'après les analyses chimiques - Madagascar.
in : Mémento de l'Agronome (1968).
- ROOSE E.J., 1973.- Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest.
Thèse Ing.Doc., Fac. Sci. Abidjan, et ORSTOM, Trav. et Doc. n° 78 (1977), 108 p.
- PIOGER R., 1952.- Mesures d'infiltration sur le terrain.
Interprétation des résultats.
ENA Grignon, 27p. ronéo.
- SEGALEN P., 1957.- Les sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar.
Mém. IRSM, sér. D, 8, 1-182.
- TAGINI B., 1965.- Esquisse géotectonique de la Côte d'Ivoire.
Rapport n° 107 SODEMI, Abidjan, 94 p.
- VACHAUD G., DANCETTE C., SONKO S. et THONY J.L., 1978.- Méthodes de caractérisation hydrodynamique in situ d'un sol non saturé. Application à 2 types de sol du Sénégal en vue de la détermination du bilan hydrique.
Ann. Agron., 29, 1, 1-36.

VALENTIN C., 1978.- Divers aspects des dynamiques actuelles de quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire. Recherches méthodologiques - Résultats et interprétations agronomiques. ORSTOM, Adiopodoumé, 140 p.

VALENTIN C. et MONG-GINE T., 1979.- Effets de la mise en culture de quelques sols représentatifs de la région de Touba (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire). Présentation sommaire de l'étude et résumé des premiers résultats. ORSTOM, Adiopodoumé, 19 p.

ANNEXE n° 1

LE LANGAGE TYPOLOGIQUE - NOMENCLATURE DES PRINCIPAUX TERMES UTILISES

La plus grande partie de ces définitions proviennent des vocabulaires créés par CHATELIN et MARTIN (1972) pour les Sols ferrallitiques, puis par RICHARD, KAHN et CHATELIN (1977) pour l'étude du milieu naturel des zones tropicales humides. Le langage typologique s'est enrichi par la suite de termes permettant de décrire de manière encore plus objective, et d'autres types de sols : BEAUDOU et CHATELIN (1977) - BEAUDOU et COLLINET (1977) - BEAUDOU et al. (1978) puis des milieux humanisés, BEAUDOU et de BLIC (1978).

Le langage typologique procède par approches successives des objets qui sont décrits dans les différentes enceintes où ils se trouvent (supraplexion, métaplexion ou incraplexion : RICHARD, KAHN et CHATELIN, 1977). C'est ainsi qu'il y a des termes de diagnose primaire, secondaire, etc... Les ensembles décrits sont par ailleurs quantifiés selon une règle de combinatoire des termes utilisés (BEAUDOU, 1977).

Les versions suivantes sont en majorité celles données par BEAUDOU et de BLIC (1978) et BEAUDOU et SAYOL (1979).

1. LES ELEMENTS DE DIAGNOSE PRIMAIRE⁽¹⁾

1.1. Eléments de diagnose du supraplexion

- . PROPHYSE : Ensemble des feuillages des arbres en cours de croissance⁽²⁾.
- . PALIPHYSE : Ensemble des feuillages des arbres qui ont atteint leur maximum d'expansion⁽²⁾.
- . STYLAGE : Ensemble des éléments de conduction correspondant aux troncs, axes ligneux droits, dépourvus de méristèmes actifs. Il est lié au paliphyse et au prophyse.
- . DENDRIGE : Ensemble des branches principales qui se distinguent des feuillages.

1.2. Eléments de diagnose du métaplexion supérieur

- . GRAMEN : Ensemble constitué des végétaux graminiformes.
- . KORTODE : Ensemble des plantes herbacées non graminiformes et non prostrées.

(1) Les éléments de diagnose primaire peuvent être en-dessous de leur situation habituelle, auquel cas ils sont désignés avec le préfixe HYPO-, ou au contraire au-dessus et le préfixe HYPSO- est utilisé.

(2) PROPALIPHYSE est une diagnose intergrade entre celle de prophyse et celle de paliphyse. Elle est plus proche de la diagnose paliphyse que celle de prophyse.

- . NEOGRAMEN, NEOKORTODE : Eléments de diagnose correspondant aux formes végétales jeunes du gramen et du kortode.
- . KORTAGE : Système conducteur du kortode lorsqu'il est spatialement individualisé (tiges, pétioles...)
- . GRAMAGE : Système conducteur du gramen lorsqu'il est spatialement individualisé.
- . NEOPHYTION : Il inclut toutes les germinations et plantules des formes arborescentes et/ou ligneuses.
- . ANTHRO- : Préfixe utilisé pour désigner des organisations anthropiques directement liées à l'action de l'homme (ex : anthrogramen : ensemble de végétaux cultivés herbacés graminiformes : riz, maïs, etc...- anthrokortode : ensemble de végétaux cultivés herbacés non graminiformes : *Stylosanthes*, arachide, etc...).
- . ALLO- : Préfixe utilisé pour désigner des organisations anthropiques indirectement liées à l'action de l'homme (ex : allokortode : adventices herbacées non graminiformes...).

1.3. Eléments de diagnose du métaplexion strict

- . NECROPHYTION : Matière végétale non décomposée. Il existe 2 variantes :
 - nécrophytion foliacé : feuilles
 - nécrophytion ligneux : troncs, tiges coupés et couchés.
- . ZOOLITE : Désigne des édifices biologiques érigés à la surface du sol (déjections de ver : v/zoolite ; termitières : T/zoolite).
- . EPILITE : Dépôt superficiel d'éléments généralement grossiers (sables, nodules, etc...). Ce diagnostic regroupe les placages, pavages, atterrissements, etc.... Il y a 3 variantes majeures précisant la granulométrie du matériel : micro-, méso- et macro- épilite.
- . DERMILITE : C'est un diagnostic correspondant aux "pellicules de battance". Il a plusieurs types de dermites suivant leur épaisseur, leur développement, leur nature ou leur structure (ex : dermite simple argileux continu).
- . TEPHRALITE : Désigne des corps d'occurrence saisonnière : cendres minérales et charbons.
- . GRUMORHIZE (grumo-hoplexol) : Hoplexol formé par une zone d'exploitation racinaire dense (brachyrhizes) avec des axes racinaires conducteurs (macrorhizes). Il comprend une fraction organique et minérale dont la structure et la dynamique sont étroitement liées à l'activité biologique. Dans les savanes, cet hoplexol est discontinu.

1.4. Eléments de diagnose du métaplexion inférieur

- . HUMITE : Ensemble organique et minéral non appauvri en argile, de couleur généralement foncée.
 - Humite peu accentué : une variante de l'humite, s'observe en général sous l'humite, de couleur moins foncée que l'humite.
- . APPUMITE : Ensemble organique et minéral appauvri en argile et en sesquioxydes.
- . ARUMITE : Désigne la partie supérieure des sols transformée par les techniques culturales responsables de traits pédologiques spécifiques et variés à caractères essentiellement temporaires.
- . STRUCTICHRON : Ensemble minéral meuble qui possède une organisation proprement pédologique.
 - Structichron dyscrophe : Imprégnation organique plus ou moins homogène, responsable d'une coloration terne.
 - Structichron strict : Pas d'imprégnation organique visible. La coloration est vive et homogène.
- . RHIZAGE : Système racinaire constitué principalement d'éléments conducteurs (macrorhizes).
- . RHIZOPHYSE : Système racinaire assimilateur (chevelu racinaire)

Structichron et rhizagé participent également à la diagnose de l'infraplexion.

1.5. Eléments de diagnose de l'infraplexion

- . GRAVOLITE : Désigne des concentrations portantes de nodules de sesquioxydes métalliques (au moins 45%).
- . GRAVELON : Désigne des concentrations de cailloux et graviers de quartz (au moins 45%).
- . ALTERITE : Ensemble minéral, meuble, formé par l'altération d'une roche, n'ayant pas acquis d'organisation structurale de type proprement pédologique.
- . STERITE : Ensemble induré (cuirassé) par l'accumulation et le durcissement de sesquioxydes métalliques. 2 variantes majeures sont distinguées :
 - Fragi-stérîte : de dureté assez faible, pouvant généralement être rompu à la main
 - Péto-stérîte : beaucoup plus dur, formé par des taux élevés de sesquioxydes libres.

- . PSAMMITON : Matériau de texture essentiellement sableuse, de couleur très claire (valeur 7 à 8 - chroma 1 à 8), et de texture d'entassement sans organisation proprement pédologique.
- . REGOLITE : Blocs rocheux ou cailloutis, en général d'assez grande dimension . 2 variantes ont été distinguées :
 - Régolite leucocrate : Eléments de roches de coloration claire (granite)
 - Régolite mélanocrate : Eléments de roches de coloration foncée (dolérite).
- . REDUCTON : Matériau minéral caractérisé par des colorations grises, gris-bleutées, gris verdâtres ou blanches, marqué par l'hydromorphie.
 Une série de variantes ont été distinguées selon le pourcentage de taches de couleur vive (rouge ou rouille) observées dans le profil. Cette série s'ordonne selon la règle de la quantification (cf. paragraphe
 (ex : réduction à phase oxydée : présence de 5 à 15% de taches).
- . RETICHRON : Désigne un matériau meuble, le plus souvent, à taches ou marbrures rouges et ocre-rouge sur un fond jaune clair ou beige. L'inverse peut également se présenter. C'est un ensemble minéral évolué de composition minéralogique et d'organisation sans analogie macroscopique avec la roche-mère.

2. LES ELEMENTS DE DIAGNOSE SECONDAIRE

- Pour les sols, la diagnose secondaire porte sur la structure pédologique proprement dite.
- . GRUMOCLODE : Se dit d'une structure en agrégats arrondis, bien formés, isolés, qui se rencontre dans les humites et appumites riches en matières organiques et au voisinage des chevelus racinaires.
- . NUCICLODE : Les agrégats sont moins bien individualisés, incomplètement formés.
- . ANGUCLODE : Se dit d'une structure à agrégats anguleux (polyédriques, cubiques, etc...) isolables les uns des autres.
- . PAUCICLODE : Une variante de la structure anguclide, désignent des agrégats incomplètement formés. Les faces structurales n'isolent pas ou très peu d'agrégats polyédriques vraiment bien formés.

- . AMERODE : C'est une structure qui se rattache au schéma massif et continu, mais qui peut contenir de rares fissures et donner ainsi des éclats de débits anguleux.
 - . ALIATODE : Se dit d'une structure fortement poreuse et friable, correspondant à une microagrégation généralisée. Elle se rencontre presque uniquement dans les structichrons.
 - . PSAMMOCLODE : C'est la texture des matériaux psammitiques au sens granulométrique du terme. Elle se rapproche du schéma de la structure particulaire.
 - . AROCLODE : Se dit d'une structure d'origine anthropique à éléments nettement séparés, où peuvent être juxtaposés des individus de formes, dimensions et cohésions très variées. Cette structure est temporaire.
- Les caractères structuraux de la surface du sol sont désignés par les termes suivants :
- . ISOCLINE : Microrelief sensiblement régulier et plan, avec continuité des hoplexols.
 - . KELECLINE : Microrelief à structure irrégulière, les motifs structuraux restant du même ordre de grandeur et se répétant sans hiérarchie apparente.
 - . DOLICHOLINE : Structure correspondant à des formes allongées plus ou moins régulières, souvent d'origine anthropique (billon, etc).
 - . AROCLINE : Micromodelé très irrégulier de forme et de taille, directement lié aux techniques de préparation du sol (labour motteux par exemple).
- Les organisations des structures végétales sont définies par le rapport du volume végétal de l'hoplexol au volume d'air, ensuite par la structure d'ensemble de la végétation dans l'hoplexol, et enfin par la structure des éléments de diagnose.
- . AEROPHIQUE : Le volume des éléments végétaux est nettement inférieur au volume d'air.
 - . STOMAPHIQUE : Les volumes végétaux et les volumes d'air sont équivalents.
 - . ISOPHIQUE : Les volumes végétaux dominant.
 - . CLEISTOPHIQUE : La végétation est fermée.

- . TAXOÏDE : Désigne un ensemble d'éléments individualisés et ordonnés régulièrement sur le plan horizontal.
- . NESOÏDE : Désigne une structure anisométrique dans la distribution des végétaux qui forment des îlots.
- . ERECLOÏDE : Structure à orientation préférentielle verticale.
- . HORICLOÏDE : Structure à orientation préférentielle horizontale.

4. LES ELEMENTS DE DIAGNOSE COMPOSEE

- La diagnose composée s'applique ici à des regroupements d'hoplexols du métaplexion inférieur et de l'infraplexion.

Deux entités peuvent être dégagées :

- . APEXOL : Il est formé par le rassemblement des horizons appumiques et structichromes. Lorsque le structichron présente un développement considérable, seule la partie supérieure directement liée aux phénomènes biologiques et à la fertilité appartient à l'apexol qui est limité conventionnellement à 150 cm.
Plusieurs catégories d'apexols sont reconnues en fonction de leur développement :

Lepto-apexol : Il ne comporte qu'un humite ou un appumite.

Brachy-apexol : Il est formé d'un humite ou d'un structichron.

Deux degrés de développement peuvent être différenciés :

- . Brachy-apexols peu développés : Ils se composent d'un humite, mélanumite ou appumite et d'un structichron dyscrophe.
- . Brachy-apexols stricts : Ils se composent d'un humite ou d'un appumite, d'un structichron dyscrophe et d'un structichron strict. Mais l'épaisseur de l'ensemble est toujours inférieure à 150 cm.

Ortho-apexol : Il se compose d'un humite ou d'un appumite, d'un structichron dyscrophe et d'un structichron strict. L'ensemble atteint une épaisseur de 150 cm. L'infrasol débute pratiquement toujours par un structichron profond.

- . INFRASOL : Il est composé des horizons gravillonnaire, graveleux, rétichrome, stéritique, altéritique, régolique et psammitique. Le structichron peut aussi se trouver dans l'infrasol. Il peut faire suite au structichron d'un ortho-apexol, dans ce cas il s'agit d'un structichron profond. S'il apparaît sous un gravolite, stérîte, gravélon, il s'agit d'un hypo-structichron.

ANNEXE n° 2

LES RESULTATS DES ANALYSES DE LABORATOIRE

BAM 109 - Sol non cultivé

Analyses Horizons	Granulométrie (%)						Bases échangeables (mē/100 g)								P205 as.‰	Matière organique(‰)				pH	
	E.G	A	Lf	Lg	Sf	Sg	Ca	Mg	K	Na	S	T	V	Olsen	C	N	C/N	M.O.	Eau	Kcl	
BAM 1091 a dēj. de ver	0,3	17,1	14,7	7,8	27,2	30,3	4,38	2,30	0,56	0,01	7,25	8,93	81,2	0,19	13,43	0,85	15,8	23	6,7	6,1	
BAM 1091 b s/graminées	1,5	13,4	10,8	5,3	21,8	46,3	2,50	1,94	0,35	0,01	4,80	6,90	69,5	0,18	10,25	0,80	12,8	18	6,6	5,7	
BAM 1091 c 0-8	1,1	13,2	10,5	5,0	19,6	49,7	1,90	1,26	0,21	0,01	3,38	5,37	62,9	0,09	17,54	1,18	14,8	30	6,4	5,6	
BAM 1092 12-20	4,4	12,4	7,9	5,0	22,4	51,9	1,48	0,90	0,25	0,01	2,64	4,82	54,7	0,10	7,56	0,55	13,7	13	6,0	5,3	
BAM 1093 28-40	66,9	25,3	7,9	3,6	14,2	46,9	0,75	0,45	0,09	0,01	1,30	5,05	25,7	0,02	8,12	0,55	14,7	14	5,3	4,5	

BAM 209 - Sol cultivé

Analyses Horizons	Granulométrie (%)						Bases échangeables (mē/100 g)								P205 assim %.	Matière organique(%)				pH	
	E.G.	A	Lf	Lg	Sf	Sg	Ca	Mg	K	Na	S	T	V	Olsen		C	N	C/N	M.O.	Eau	Kcl
BAM 2091 a dermilite	6,3	12,6	10,3	5,5	20,6	50,2	1,55	1,00	0,33	0,01	2,89	5,33	54,2	0,10	8,05	0,58	13,9	14	6,3	5,5	
BAM 2091 b 0-5	9,7	11,1	9,7	4,0	17,2	57,9	1,43	0,82	0,19	0,01	2,45	4,46	54,9	0,09	7,26	0,51	14,2	13	6,1	5,1	
BAM 2091 c 5-8	1,9	12,4	8,9	4,4	18,0	55,1	1,25	0,75	0,09	0,01	2,10	3,59	58,5	0,05	6,53	0,52	12,5	11	6,0	5,0	
BAM 2092 a 12-18 humifère	1,2	15,0	10,8	6,2	16,5	50,9	1,65	1,05	0,05	0,01	2,76	6,03	45,7	0,06	8,70	0,59	14,7	15	5,6	4,7	
BAM 2092 b 12-18 non humif.	1,8	17,1	7,1	3,8	19,0	51,6	0,45	0,37	0,04	0,01	0,87	4,32	20,1	0,02	4,78	0,45	10,6	8	5,0	4,3	
BAM 2093 28-40	69,0	26,8	8,9	4,3	10,6	48,6	1,20	0,90	0,09	0,01	2,20	5,89	37,3	0,01	6,75	0,52	12,9	12	5,3	4,8	

RESULTATS D'ANALYSES - GUINTEGUELA

GUI 107 : Sol non cultivé

Analyses Horizons	Granulométrie (%)						Bases échangeables (mé/100 g)								P2O5 assim ‰	Matière organique (‰)				pH	
	E.G.	A	Lf	Lg	Sf	Sg	Ca	Mg	K	Na	S	T	V	Olsen		C	N	C/N	M.O.	Eau	KCl
GUI 1071 a 0-5	0,4	18,2	24,8	8,2	22,8	19,7	9,44	5,70	0,76	0,02	15,92	11,15	>100	0,04	30,86	2,08	14,8	53	6,5	6,1	
GUI 1071 b 7-15	2,3	20,8	25,6	10,6	18,7	19,3	9,69	2,82	0,16	0,01	12,68	10,36	>100	0,02	24,91	1,80	13,8	43	6,6	6,1	
GUI 1072 18-34	71,5	35,0	9,7	5,6	16,8	30,0	4,24	2,34	0,11	0,01	6,70	9,68	69,2	0,01	12,74	1,05	12,1	22	6,5	5,6	
GUI 1073 37-53	63,5	46,8	9,2	5,0	12,8	22,6	2,44	2,24	0,06	0,01	4,75	7,68	61,8	0,01	6,78	0,68	9,9	12	6,2	5,6	
GUI 1074 70-80	46,9	53,5	10,8	5,1	11,3	18,7	2,30	2,00	0,05	0,01	4,36	7,23	60,3	0,01	-	-	-	-	5,9	5,7	

GUI 207 : Sol cultivé

Analyses Horizons	Granulométrie (%)						Bases échangeables (mē/100 g)								P205 assim ‰	Matière organique (‰)				pH	
	E.G.	A	Lf	Lg	Sf	Sg	Ca	Mg	K	Na	S	T	V	Olsen		C	N	C/N	M.O.	Eau	Kcl
GUI 2071 a 0-5	1,8	22,9	20,8	9,1	22,9	19,8	6,84	2,95	0,65	0,01	10,45	14,22	73,5	0,04	22,10	1,53	14,4	38	6,3	5,6	
GUI 2071 b 6-12	4,3	22,7	25,3	9,2	17,8	21,0	6,84	2,82	0,19	0,01	9,86	13,57	72,6	0,03	19,24	1,45	13,2	33	5,9	5,1	
GUI 2072 18-34	85,3	39,5	10,8	7,0	12,2	28,2	2,56	1,86	0,11	0,01	4,54	9,57	47,4	0,01	10,72	0,93	11,5	18	5,6	4,9	
GUI 2073 37-53	42,6	52,6	8,7	4,9	10,3	21,3	2,32	1,10	0,04	0,02	3,48	7,19	48,4	0,01	4,58	0,45	10,2	8	5,4	5,2	
GUI 2074 70-80	6,0	46,3	14,7	6,3	12,9	17,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,5	5,5	

RESULTATS D'ANALYSES

SOU 104 : Sol non cultivé

Analyses Horizons	Granulométrie (%)						Bases échangeables (mē/100 g)								P205 assim ‰	Matière organique (‰)				pH	
	E.G.	A	Lf	Lg	Sf	Sg	Ca	Mg	K	Na	S	T	V	Olsen	C	N	C/N	M.O.	Eau	KCl	
SOU 1041 a dēj. de ver	0,0	37,1	39,2	6,2	9,8	5,7	4,30	3,70	0,54	0,01	8,55	16,54	51,7	0,08	36,01	2,03	17,7	62	6,2	5,5	
SOU 1041 b 0-10	0,5	38,9	27,9	6,7	10,6	7,6	4,30	2,80	0,41	0,01	7,52	15,07	49,9	0,05	30,90	1,80	17,1	53	6,2	5,5	
SOU 1042 10-25	0,5	65,0	16,3	2,9	5,7	5,3	0,25	0,15	0,08	0,01	0,49	10,36	4,7	0,02	17,09	1,09	15,7	29	4,9	4,5	
SOU 1043 50-120	1,8	40,8	21,8	10,1	13,7	7,0	0,10	0,04	0,03	0,01	0,18	6,68	2,7	0,01	7,68	0,62	12,4	13	5,3	5,4	
SOU 1044 160-180	69,9	38,9	16,8	8,3	8,7	25,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,6	5,7	

SOU 204 : Sol cultivé

Analyses Horizons	Granulométrie (%)						Bases échangeables (mē/100 g)								P205 assim ‰	Matière organique (‰)				pH	
	E.G.	A	Lf	Lg	Sf	Sg	Ca	Mg	K	Na	S	T	V	Olsen	C	N	C/N	M.O.	Eau	KCl	
SOU 2041 0-10	0,8	48,4	22,1	5,7	9,6	7,6	1,45	0,74	0,25	0,01	2,45	12,23	20,0	0,05	21,50	1,35	15,9	37	5,2	4,6	
SOU 2042 10-30	0,6	66,5	10,5	3,7	5,9	6,0	0,60	0,37	0,08	0,01	1,06	11,37	9,3	0,03	18,62	1,18	15,8	32	4,9	4,5	
SOU 2043 a 50-60	2,3	61,0	16,3	4,7	4,8	7,8	0,10	0,02	0,03	0,01	0,16	7,15	2,2	0,01	7,16	0,58	12,3	12	5,3	5,6	
SOU 2043 b 100-110	0,8	71,0	10,0	3,7	5,5	5,9	0,12	0,02	0,03	0,01	0,18	7,54	2,4	0,01	7,28	0,60	12,1	13	5,4	5,7	
SOU 2043 c 150-155	0,0	37,9	42,6	3,2	5,0	6,3	0,06	0,02	0,03	0,01	0,12	8,83	1,3	0,01	10,70	0,75	14,2	18	4,9	4,9	
SOU 2044 170-180	75,8	43,7	14,2	6,6	6,0	25,2	0,10	0,02	0,01	0,01	0,14	6,54	2,1	0,01	-	-	-	-	5,2	4,7	

RESULTATS D'ANALYSES PHYSIQUES

BAMBADOUGOU

BAM 109 : Sol non cultivé

	Terre fine	Eléments grossiers						Mottes (dens. app. et porosité)						
		Dens. réelle	Densité apparente					d.rée. moy.	1		2		3	
			1	2	3	4	5		d.a.	p.	d.a.	p.	d.a.	p.
BAM 1091 a déj. de ver.	2,56													
BAM 1091 b s/graminées	2,51													
BAM 1091 c 0-8	2,52													
BAM 1092 12-20	2,56							1,53	39,0	<u>1,61</u>	<u>36,0</u>	1,64	34,6	
BAM 1093 28-40	2,55	2,88	<u>2,52</u>	2,50	2,49	2,67	2,98							

BAM 209 : Sol cultivé

[illegible]

GUINTEGUELA : Sol non cultivé

GUI 1071 a 0-5	2,57												
GUI 1072 18-34	2,71	1,81	2,55	<u>2,44</u>	2,49	2,33	2,79						
GUI 1073 37-53	2,70	2,17	<u>2,41</u>	2,33	2,49	2,46	2,76						
GUI 1074 70-80	2,67	2,42	2,21	1,99	<u>2,23</u>	2,37	2,72						

GUI 207 : Sol cultivé

[illegible]

RESULTATS D'ANALYSES PHYSIQUES

SOULA

SOU 104 : sol non cultivé

	Terre fine	Eléments grossiers						Mottes (dens. app. et porosité)					
		densité apparente					d. rée. moy.	1		2		3	
		1	2	3	4	5		d.a	p.	d.a.	p.	d.a.	p.
SOU 1041 a dēj. de ver	2,69												
SOU 1041 b 0-10	2,73							1,28	<u>50,6</u>	<u>1,23</u>	52,5	1,16	43,5
SOU 1042 10-25	2,75							1,17	57,9	<u>1,19</u>	<u>56,7</u>	1,23	54,7
SOU 1043 à 55	2,88							1,16	57,9	<u>1,21</u>	<u>57,1</u>	1,21	52,2
SOU 1043 à 110								<u>1,21</u>	<u>57,3</u>	1,23	56,3	1,18	57,8
SOU 1044 160-180	2,79												

SOU 204 : sol cultivé

SOU 2041(0-10) (mottes fragil.)	2,61							1,15	57,4	<u>1,14</u>	<u>57,8</u>	1,14	61,9
SOU 2041(0-10) (mottes dures)								1,45	46,7	1,31	51,6	<u>1,43</u>	<u>47,2</u>
SOU 2042 10-30	2,66							<u>1,35</u>	<u>50,7</u>	1,50	44,8	1,33	51,7
SOU 2043 a 50-60	2,81												
SOU 2043 b 100-110	2,83												
SOU 2043 c 150-155	2,86												
SOU 2044 170-180	2,85	1,87	2,22	<u>1,89</u>	1,80	1,98	2,73						

BAMBADOUGOURESULTATS D'ANALYSES CHIMIQUES

BAM 109 : Sol non cultivé

	N minéralisable en 10 ⁻⁵		Fer %		ELEMENTS TOTAUX				
	N-NO ₃	N-NH ₃	Libre Endredy	Fer total	Ca	Mg	K	Na	P ₂ O ₅ %.
					mé/100 g.				
BAM 1091 a dēj. de ver	0,06	1,06	1,92	2,70	4,50	8,70	8,87	2,50	0,74
BAM 1091 b s/graminées	0,05	1,34	2,11	2,75	3,20	7,70	7,87	2,50	0,43
BAM 1091 c 0-8	0,04	0,74	1,97	2,75	6,60	10,00	9,87	2,30	0,69
BAM 1092 12-20	0,10	0,92	-	3,30	2,40	12,00	8,57	2,60	0,53
BAM 1093 8-40	0,03	1,12	-	4,54	1,90	7,90	7,47	1,20	0,28

BAM 209 : Sol cultivé

BAM 2091 a dermilite	0,82	1,50	2,40	3,30	4,30	11,70	8,07	1,80	0,60
BAM 2091 b 0-5	0,36	0,34	2,67	3,30	2,60	10,40	7,87	2,50	0,47
BAM 2091 c 5-8	0,10	1,10	2,53	3,65	2,30	12,70	8,37	3,50	0,31
BAM 2092 a 12-18 humifère	0,06	0,72	-	3,48	2,70	14,50	10,17	1,80	0,31
BAM 2092 b 12-18 non humif.	0,08	0,60	-	3,90	1,20	12,40	8,17	2,50	0,32
BAM 2093 28-40	0,10	1,42	-	6,76	1,90	12,10	7,47	2,20	0,32

GUINTEGUELA

GUI 107 : Sol non cultivé

GUI 1071 a 0-5	2,34	1,32	6,43	8,35	16,00	7,40	3,20	1,80	0,48
GUI 1071 b 7-15	0,20	0,82	6,46	7,64	14,40	8,10	5,00	3,50	0,48
GUI 1072 18-34	0,02	0,69	-	-	9,80	9,20	6,00	6,30	0,55
GUI 1073 37-53	0,02	0,28	-	-	14,40	10,00	5,20	3,20	0,40
GUI 1074 70-80	-	-	-	-	2,80	8,50	3,00	2,60	0,31

GUI 207 : Sol cultivé

GUI 2071 a 0-5	1,14	1,21	6,46	8,04	10,70	6,50	3,70	2,20	0,44
GUI 2071 b 6-12	0,64	0,54	7,28	8,40	7,10	9,10	5,60	4,00	0,42
GUI 2072 18-34	0,70	0,61	-	-	12,60	8,10	4,00	2,20	0,52
GUI 2073 37-53	0,52	0,28	-	-	2,90	9,00	4,10	2,00	0,34

RESULTATS D'ANALYSES CHIMIQUESSOULA

SOU 104 : Sol non cultivé

	N minéralisable en 10 ⁻⁵		Fer %		ELEMENTS TOTAUX				
	N-NO ₃	N-NH ₃	Libre Endredy	Fer total	Ca	Mg	K	Na	P ₂ O ₅
	mé/100 g								%.
SOU 1041 a déj. de ver.	0,12	3,70	3,60	18,50	4,15	10,00	2,12	1,60	0,72
SOU 1041 b 0-10	0,04	1,12	4,18	18,60	4,90	10,00	2,12	1,10	0,69
SOU 1042 10-25	0,05	0,84	-	20,40	0,60	6,60	1,67	1,10	0,42
SOU 1043 50-120	0,08	0,68	-	21,40	0,30	6,00	1,22	1,10	0,27
SOU 1044 160-180	0,10	1,32	-	21,00	-	-	-	-	-

SOU 204 : Sol cultivé

SOU 2041 0-10	0,78	1,50	5,02	18,60	1,40	7,00	1,62	1,50	0,61
SOU 2042 10-30	0,06	1,06	-	20,00	0,60	6,60	1,67	0,70	0,35
SOU 2043 a 50-60	0,12	0,40	-	-	2,40	8,10	3,50	2,10	0,36
SOU 2043 b 100-110	0,04	0,51	-	-	1,30	7,30	1,80	3,90	0,46
SOU 2043 c 150-155	0,04	0,54	-	-	1,10	7,30	2,00	3,80	0,63
SOU 2044 170-180	-	-	-	-	0,20	5,10	1,10	0,90	0,46

ANNEXE n° 3

ETUDE DES ELEMENTS GROSSIERS ET EAU DISPONIBLE POUR LES PLANTES

1. Mesure de densité apparente et d'humidité "à saturation" des gravolites.

Elle a été faite sur les éléments grossiers que le Laboratoire Central d'Analyses nous a rendus après la préparation classique avant analyse des échantillons ramenés du terrain.

Les nodules ont été lavés à l'eau pour les débarrasser des terres fines, et laissés à tremper pendant 1 heure. Cette opération a pour but de remplir d'eau les gros pores et permettre une mesure du volume par immersion. Retirés de l'eau et essuyés avec un linge, ils sont ensuite versés dans une éprouvette graduée préalablement tarée, et pesés. Le remplissage de l'éprouvette et une simple pesée permet ensuite de connaître le volume d'eau ajoutée et celui des nodules par différence avec le niveau du remplissage. Les nodules sont enfin séchés à l'étuve à 105°C et pesés pour avoir leur humidité après trempage dans l'eau (H %). Cette valeur constitue une limite supérieure aux états d'humidité que peuvent avoir ces éléments dans le sol. Elle donne une indication sur la macroporosité des gravolites.

Les résultats sont présentés sur le tableau ci-dessous, ainsi que les valeurs fournies par le laboratoire, obtenues avec la méthode par enrobage à la paraffine de ces éléments grossiers (médiane de 5 mesures)

Echantillon	Poids(g) échantillon	d.a. mesurée	d.a. labo.	H % (poids. sec)	
BAM 1093	427	2,49	2,52	4,7	
GUI 1072	377	2,43	2,44	5,1	
GUI 1073	317	2,38	2,41	5,8	
GUI 1074 lourd	269	2,33	2,23	5,8	4,7
GUI 1074 léger	79	2,13		1,5	
SOU 2044	235	1,82	1,89	<u>18,6</u>	

Nous remarquons que :

- les densités mesurées avec la méthode à la paraffine semblent plus élevées que celles mesurées par immersion dans l'eau. Ceci serait dû à un emprisonnement d'air entre le gravolite au moment de l'immersion, entraînant une estimation par excès de leur volume ;

- les nodules ferrugineux de Bambadougou sont les plus lourds, suivis de ceux de Guintéguela et enfin de Soula ;
- à Guintéguela, les nodules sont de moins en moins denses à mesure qu'on descend dans le profil ;
- dans GUI 1074, deux types de nodules ont été distingués. Leurs caractéristiques morphologiques sont données dans le paragraphe suivant ;
- sur le plan de la porosité associée aux humidités mesurées, les nodules légers de GUI 1074 seraient les moins poreux (porosités fermées) et ceux de Soula les plus poreux.

2. Examen morphologique des gravolites

21. Echantillon BAM 1093

- . Petits graviers de quartz peu altérés, 5 mm : 1 à 2% en volume
 - . Graviers de quartz altérés (5 à 15 mm), partiellement ferruginisés, cassure de couleur rose terne rouille : 5 à 6%.
 - . Nodules de couleur foncée, presque noire, très ferruginisés, durs, à surface patinée et très contournée. Cassure de couleur foncée ne comportant pas de grains de quartz visible ; très peu poreux.
- taille de 3 à 10 mm : 85% de nodules
taille de 11 à 20 mm : 15% de nodules.

22. Echantillon GUI 1072

- . Petits graviers de quartz peu altérés, 5 mm : 1%
 - . Graviers de quartz altérés (5 à 10 mm), partiellement ferruginisés : 3%
 - . Nodules de couleur foncée, à surface patinée :
- taille de 3 à 5 mm : 30%
taille de 6 à 15 mm : 40%
taille de 16 à 30-35mm : 25%

23. Echantillon GUI 1073

- . Morceaux de roche altérée (15 à 30 mm), surfaces relativement planes ; cassure nette, couleur plutôt claire, jaune violacée par plages concentriques. Très nombreux grains de quartz, fins, se détachant par frottement. Très peu poreux. 3%.
 - . Nodules de forme arrondie, couleur foncée :
- taille de 5 à 10 mm : 15%
taille de 11 à 15 mm : 20%
taille de 16 à 35-40 mm : 60%

Les nodules de grande taille sont assez poreux ; ils contiennent du sable grossier quartzeux soudé à la matrice ferrugineuse noire, ainsi que de petites concrétions ferrugineuses de 2 à 3 mm. Cassure violet foncé à noire, rugueuse. Fissures fréquentes.

24. Echantillon GUI_1074

- . Nombreux morceaux de roche altérée (cf. GUI 1073) : 25 %
- . Nodules ferrugineuses noires : 75 %
- . 70% des éléments grossiers ont des tailles de 2 à 3 cm.

25. Echantillon SOU_2044

- . Nodules de taille plutôt petite : 7 à 15 mm, rouge à rouge vif. Matériau argileux imprégné de fer, léger, poreux (pores très fins tubulaires visibles) ; surface courbe convexe. 2% ont des taches noires. Pas de quartz.

26. Conclusion

- A Bambadougou le gravolite est composé de 6 à 7% de quartz, et de nodules ferrugineux de petite taille (≈ 10 mm), couleur foncée, durs et peu poreux.
- A Guintéguela le gravolite est de nature analogue à celui de Bambadougou, mais de plus grande taille (20 à 30 mm), surtout dans le gravo-structi-altérite. Les gros nodules sont souvent fissurés et poreux. Dans les horizons inférieurs apparaissent des morceaux de roche altérée, plus légers, peu poreux.
- A Soula, le gravolite est de nature argilo-ferrugineuse, rouge, léger et très poreux.

3. Approche de la répartition de l'eau dans un gravolite. Porosité et eau associée aux catégories de vides. Eau utilisable par les plantes dans les horizons gravoliques.

Cette étude concerne l'infraplexion des sols de Bambadougou et de Guintéguela, et le gravolite de Soula.

Disposant de données concernant soit l'ensemble de l'horizon (éléments grossiers + terre fine) soit les éléments grossiers seuls, ou de la terre fine seule, nous nous proposons de déterminer les types de porosité du gravolite, les quantités d'eau associées à ces porosités et les hauteurs d'eau (en mm) disponibles pour les plantes dans les différents horizons gravoliques.

TABLEAU n° 12 - APPROCHE DE LA REPARTITION DE L'EAU DANS UN GRAVOLITE - POROSITES ET EAU ASSOCIEE AUX CATEGORIES DE VIDES. - EAU UTILISABLE PAR LES PLANTES DANS LES HORIZONS GRAVOLIQUES.

- (1) : Teneur en éléments grossiers (E.G.) en % de poids de terre totale
 (2) : Densité apparente de la terre totale = poids d'un volume unitaire de sol (Vol. 1)
 (3) : Poids des E.G. dans Vol. 1
 (4) : Poids de la terre fine (T.F.) dans Vol. 1
 (5) : Densité apparente des E.G.
 (6) : Volume des E.G. (+ vides associés) dans Vol. 1
 (7) : Volume des T.F. (+ vides associés) dans Vol. 1
 (8) : Densité réelle des T.F.
 (9) : Volume des T.F. seules dans Vol. 1
 (10) : Porosité de la T.F.
 (11) : Humidité à la capacité au champ (C.C.) du sol (TF + E.G.) en % de poids (48 h. après Plöger)
 (12) : Humidité à C.C. d'un Vol. 1 de terre totale
 (13) : Humidité des E.G. à C.C. en % de poids des E.G.
 (14) : Humidité des E.G. à C.C. dans Vol. 1
 (15) : Humidité des T.F. à C.C. dans Vol. 1
 (16) : Macroporosité des T.F. dans Vol. 1
 (17) : Porosité des E.G. en % de volume des E.G. seuls
 (18) : Porosité des E.G. dans Vol. 1
 (19) : % de vide des E.G. occupé par l'eau à C.C.
 (20) : Humidité à pF 4,2 des T.F. en % de poids des T.F.
 (21) : Humidité à pF 4,2 des T.F. dans Vol. 1
 (22) : Eau utilisable par les plantes dans Vol. 1
 (23) : Cotes en cm de l'horizon pédologique concerné
 (24) : Eau utilisable par les plantes (en mm) dans l'horizon concerné

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	(24)
			$\frac{(1) \times (2)}{100}$	(2)-(3)		$\frac{(3)}{(5)}$	1-(6)		$\frac{(4)}{(8)}$	(7)-(9)		$\frac{(2) \times (11)}{100}$		$\frac{(3) \times (13)}{100}$	(12)-(14)	(10)-(15)		(6) \times (17)	$\frac{(14) \times 100}{(18)}$		$\frac{(4) \times (20)}{100}$	(15)-(21)		$\frac{(22) \times (23)}{100}$
BAM 1093 (28-40)	67	1,86	1,24	0,61	2,52	0,49	0,50	2,55	0,24	0,26	10,2	0,19	4,2	0,05	0,14	0,13	0,15	0,07	70,5	9,3	0,06	0,08	25-40	12,0
BAM 2093 (28-40)	69	1,94	1,34	0,60	2,52 [■]	0,53	0,47	2,45	0,24	0,22	12,1	0,23	4,2	0,06	0,18	0,04	(0,14)	0,07	75,5	9,9	0,06	0,12	25-50	29,7
GUI 1072 (18-34)	71	1,59	1,13	0,46	2,44	0,46	0,54	2,71	0,17	0,37	19,1	0,30	4,6	0,05	0,25	0,11	0,12	0,05	93,5	15,4	0,07	0,18	18-40	39,7
GUI 1073 (37-53)	63	1,88	1,18	0,69	2,41	0,49	0,51	2,72	0,25	0,25	16,2	0,30	5,2	0,06	0,24	0,01	0,13	0,06	96,2	18,3	0,13	0,11	40-60	23,1
GUI 1074 (70-80)	47	1,50	0,70	0,79	2,23	0,32	0,68	2,67	0,30	0,39	22,5	0,34	4,2	0,03	0,31	0,08	0,18	0,06	52,0	20,8	0,16	0,14	60-80	28,5
GUI 2072 (18-34)	85	1,65	1,40	0,25	2,44 [■]	0,57	0,42	2,69	0,09	0,33	17,3	0,28	4,6	0,06	0,22	0,11	0,12 [■]	0,07	93,5	15,4	0,04	0,18	15-37	40,2
GUI 2073 (37-58)	42	(1,70)	0,71	0,99	2,41 [■]	0,30	0,70	2,68	0,37	0,33	(21,0)	0,35	5,2	0,04	0,32	0,01	(0,14)	0,04	89,4	21,6	0,21	0,11	37-60	24,6
GUI 2074 (70-80)	6	(1,48)	0,09	1,39	2,23 [■]	0,04	0,96	2,69	0,52	0,44	(24,0)	0,35	4,2	0,00	0,35	0,09	0,18 [■]	0,01	51,6	20,8	0,29	0,06	60-80	12,4
SOU 1044 (160-180)	70	1,68	1,18	0,50	1,89 [■]	0,62	0,38	2,79	0,18	0,20	19,6	0,33	12,6	0,15	0,18	0,02	0,30 [■]	0,19	79,3	21,7	0,11	0,07	150-180	21,5
SOU 2044 (160-180)	76	(1,71)	1,30	0,41	1,89	0,69	0,31	2,85	0,14	0,17	(19,5)	0,33	12,7	0,16	0,17	0,00	0,30	0,21	79,9	22,5	0,09	0,07	150-180	22,7

2,52[■] : Valeur mesurée sur le couple de sol

(1,70) : Valeur extrapolée : pour les colonnes (2) et (11), en tenant compte des teneurs en E.G. (1) ; pour (17), en tenant compte de (2).

Les données servant au calcul sont les suivantes (tableau n° 12) :

a) données fournies par le laboratoire

- Colonne (1) : teneur en éléments grossiers (E.G.), en % de poids de terre totale
- (5) : densité apparente des E.G.
- (8) : densité réelle de la terre fine T.F.
- (17) : porosité des E.G. ($= 1 - d.a/d.r$) en % de volume des E.G.
- (20) : humidité à pF 4,2 de la T.F. en % de poids de la T.F.

b) données obtenues par des mesures sur le terrain

- (2) : densité apparente de la terre totale
- (11) : humidité à la capacité au champ (C.C.) de la terre totale (48 h. après Pioger)
- (23) : épaisseur de l'horizon gravolique concerné
- (13) : humidité des E.G. (en % de poids des E.G.) lorsque l'humidité à la C.C. est atteinte : Nous considérons que 10% (valeur moyenne trouvée sur les différents horizons) de l'eau retenue après humidification des E.G. (calculée au n° 1 de cette annexe) est drainée quand l'humidité à la C.C. est atteinte.

Les autres colonnes de chiffres du tableau n° 12 sont les calculs intermédiaires donnant la démarche suivie pour les présentes déterminations.

Les commentaires que nous pouvons faire sur les résultats sont les suivants :

31. Vides associés aux éléments grossiers et aux éléments fins

A Bambadougou et à Guintéguéla, les porosités associées aux éléments grossiers (colonne 18) sont faibles (moins de 7%) par rapport à celles associées aux éléments fins 16 à 40% : colonne 10). Ces deux catégories de vides sont par contre équivalentes à Soula : 17 à 20%.

32. Eau associée aux catégories de vides

Extrayons du tableau n° 12 les valeurs suivantes (colonnes 6, 7, 14 et 15) :

		BAM (28-40)		GUI (18-34)		SOU (160-180)	
		Nat.	Cult.	Nat.	Cult.	Nat.	Cult.
Éléments grossiers	Vol. des E.G. (6)	0,49	0,53	0,46	0,57	0,62	0,69
	Eau à C.C. (14)	0,05	0,05	0,05	0,06	0,15	0,18
Terre fine	Vol. de T.F. (7)	0,51	0,47	0,54	0,43	0,68	0,31
	Eau à C.C. (15)	0,14	0,18	0,25	0,22	0,16	0,17

Il apparaît que les éléments grossiers occupent environ la moitié des volumes de sol en place. Ils ne gardent cependant que 5 à 6% d'eau (15 à 18% à Soula) à la capacité au champ, contre 14 à 25% dans la terre fine. L'eau retenue par la terre fine est plus abondante lorsque la texture des éléments fins est plus argileuse (comparer BAM et GUI).

Nous pouvons donc dire que la présence d'éléments grossiers diminue les réserves en eau du sol (par rapport à la teneur en eau que ce même sol aurait pu stocker s'il ne contenait pas d'éléments grossiers).

La présence d'éléments grossiers dans un sol ne permet cependant pas de prévoir sa capacité en eau utile pour les plantes par rapport à un autre sol sans éléments grossiers (cf. paragraphe suivant).

33. Eau disponible pour les plantes

C'est la différence entre l'humidité à la capacité au champ (48h. après Pioger) et l'humidité à pF 4,2.

Pour un sol d'épaisseur e (en décimètre),

$$E \text{ (mm)} = [H \text{ (\% vol)} \text{ à C.C.} - H \text{ (\% vol)} \text{ à pF 4,2}] \times e.$$

Les humidités correspondant aux horizons gravoliques sont calculées dans le tableau n° 12. Nous le regroupons dans le tableau ci-dessous (tableau n° 13) avec les quantités d'eau disponibles pour les plantes des horizons superficiels.

Tableau n° 13 : Eau disponible pour les plantes dans les 3 couples de sols.

Horizon			H(% vol) C.C.	H(% poids) pF 4,2	d.a.	E (mm)	E total
BAM 1091	0-8	cm	21,7	6,9	1,54	8,9	
BAM 1092	8-25	cm	19,6	5,2	1,52	19,9	28,8
*BAM 1093	25-40	cm			1,86	12	<u>40,8</u>
BAM 2091	0-8	cm	16,6	5,1	1,28	8,0	8,0
BAM 2092	8-25	cm	19,8	6,5	1,44	17,7	25,7
*BAM 2093	25-50	cm			1,94	29,7	55,4
GUI 1071	0-6	cm	32,3	15,2	1,45	6,2	6,2
GUI 1071	6-18	cm	32,3	16,8	1,46	9,3	15,5
*GUI 1072	18-40	cm			1,59	39,7	<u>55,2</u>
*GUI 1073	40-60	cm			1,88	23,1	<u>78,3</u>
*GUI 1074	60-80	cm			1,50	28,5	106,8
GUI 2071	0-6	cm	28,4	13,2	1,32	6,6	
GUI 2071	6-15	cm	28,4	15,1	1,52	4,9	11,5
*GUI 2072	15-37	cm			1,65	40,2	51,7
*GUI 2073	37-60	cm			1,70	24,6	76,3
*GUI 2074	60-80	cm			1,48	12,4	88,7
SOU 1041	0-10	cm	33,7	23,8	1,11	7,5	
SOU 1042	10-30	cm	34,5	22,4	1,12	18,8	26,3
SOU 1043	30-40	cm	34,4	23,9	1,10	8,1	34,4
SOU 1043	40-150	cm	34,4	23,9	1,10	89,2	<u>123,6</u>
*SOU 1044	150-170	cm			1,68	14,3	137,9
SOU 2041	0-10	cm	29,0	21,4	1,05	6,5	
SOU 2042	10-35	cm	34,8	22,6	1,13	23,1	29,6
SOU 2043	35-150	cm	33,9	24,5	1,10	79,9	109,5
*SOU 2044	150-170	cm			1,71	15,2	124,7

* Valeurs calculées au tableau n° 12.

Remarques

- En se rappelant qu'à Bambadougou les racines des végétaux exploitent tout le profil, l'eau disponible pour les plantes y serait alors de 41 mm (sur 40 cm de profondeur). En milieu cultivé, les racines sont très peu nombreuses en dessous de l'horizon labouré. L'eau disponible dans les 8 cm de sol ne s'élève qu'à 8 mm.

- A Guintéguela, en milieu cultivé comme en milieu naturel, les racines se concentrent dans l'apexol (15 à 18 premiers centimètres) où sont disponibles 16 mm d'eau.

- A Soula, les 150 cm d'apexol peuvent fournir entre 110 et 124 mm d'eau aux plantes. L'eau disponible dans l'arumite seul est cependant faible (6,5 mm dans les 10 premiers centimètres).

- Nous constatons que le travail du sol diminue les réserves en eau dans les horizons superficiels.
- En comparant les quantités d'eau disponible pour les plantes dans les 40 premiers centimètres des 3 sols (en milieu naturel : 41 mm à Bambadougou, 55 mm à Guintéguéla et 34 mm à Soula), nous arrivons à la conclusion qu'un sol gravillonnaire peut contenir plus d'eau disponible pour les plantes qu'un sol sans éléments grossiers, de même qu'un sol sableux (Bambadougou) peut en contenir plus qu'un sol argileux (Soula).

ANNEXE n° 4

LE TENSIOMETRE A BOUGIE POREUSE ET LA SONDE A NEUTRONS

PRINCIPES ET FONCTIONNEMENT

Nous avons utilisé ces deux instruments pour l'étude du drainage interne du sol cultivé de Soula.

1. LE TENSIOMETRE A BOUGIE POREUSE

Il sert à mesurer la pression de l'eau dans le sol. Une série de tensiomètres implantés à différentes cotes dans le sol permet de connaître la direction des flux hydriques.

Les renseignements suivants sont extraits de la notice d'utilisation des tensiomètres NEYRTEC, de l'ouvrage de HILLEL (1974) et du Bulletin n° 2 du Groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols (AUDRY et al., 1973).

11. Principes et fonctionnement du tensiomètre

Un tensiomètre est constitué d'un tube fermé à son extrémité inférieure par une coupelle poreuse en céramique, relié à un manomètre, le tout étant rempli d'eau. Lorsque la coupelle est placée en contact intime avec le sol là où doit s'effectuer la mesure de succion, l'eau contenue dans la canne entre en contact et avec l'eau du sol tend à s'équilibrer à travers les pores de la céramique. Au départ, l'eau contenue dans le tensiomètre est généralement à la pression atmosphérique. L'eau du sol étant à une pression normalement inférieure, exerce une succion qui draine une certaine quantité d'eau hors du tensiomètre rigide et étanche. La mesure de cette dépression permet de déterminer directement la pression intersticielle. Dans le système "NEYRTEC" que nous avons utilisé, cette mesure est effectuée en utilisant un tube de nylon transparent fixé d'une part sur la prise de pression du tensiomètre, et connecté d'autre part à un réservoir à mercure. L'extrémité de ce tube de nylon connectée au réservoir est disposée verticalement sur une règle graduée et constitue un tube manométrique. Lorsque le sol s'humidifie à la suite de précipitations ou d'irrigation, l'eau du sol s'écoule vers le tensiomètre, réduisant le vide partiel dans l'eau de la canne, ce qui produit un abaissement du niveau de mercure dans le tube manométrique. Le pot de mercure n'étant pas situé à la même cote que la bougie poreuse, l'indication du niveau de mercure correspond en fait à une mesure de la pression (h) de l'eau du sol au niveau de la bougie poreuse corrigée de la différence de niveau entre la cote du mercure dans le réservoir et la cote de la bougie, soit à une charge hydraulique (H).

Les parois de la bougie doivent être pleines d'eau pour que l'appareil de mesure ne communique pas avec l'atmosphère du sol. Par conséquent, une limite d'emploi du tensiomètre est la pression d'entrée d'air de la bougie, qui est fonction du diamètre des pores. Pratiquement la limite utile des tensiomètres est d'environ 800 millibars de

de succion maximum, soit un domaine de dessèchement moindre que pF 3. Bien que l'échelle 0-0,8 bar ne soit qu'une petite partie de l'échelle totale de variation de la succion dans les sols, celle-ci inclut une grande partie de l'échelle des teneurs en eau du sol. Ainsi RICHARDS et MARSH (1961) ont montré que dans beaucoup de sols agricoles, le domaine de fonctionnement du tensiomètre couvre plus de 50% (jusqu'à 75% et plus dans les sols à texture grossière) de la quantité d'eau prélevée par les plantes.

12. Mesure de la charge hydraulique et de la direction des flux (fig. 35).

A l'équilibre, si h est la pression effective de l'eau dans le sol, la remontée de mercure dans le manomètre au-dessus d'un niveau de référence situé à la cote $Z = 0$ vaut :

$$\xi(\text{cm}) = \frac{(h-Z)}{12,6} = \frac{H}{12,6}$$

H = charge hydraulique

12,6 = différence de masse volumique entre la colonne de mercure et la colonne d'eau équivalente déplacée par le mercure.

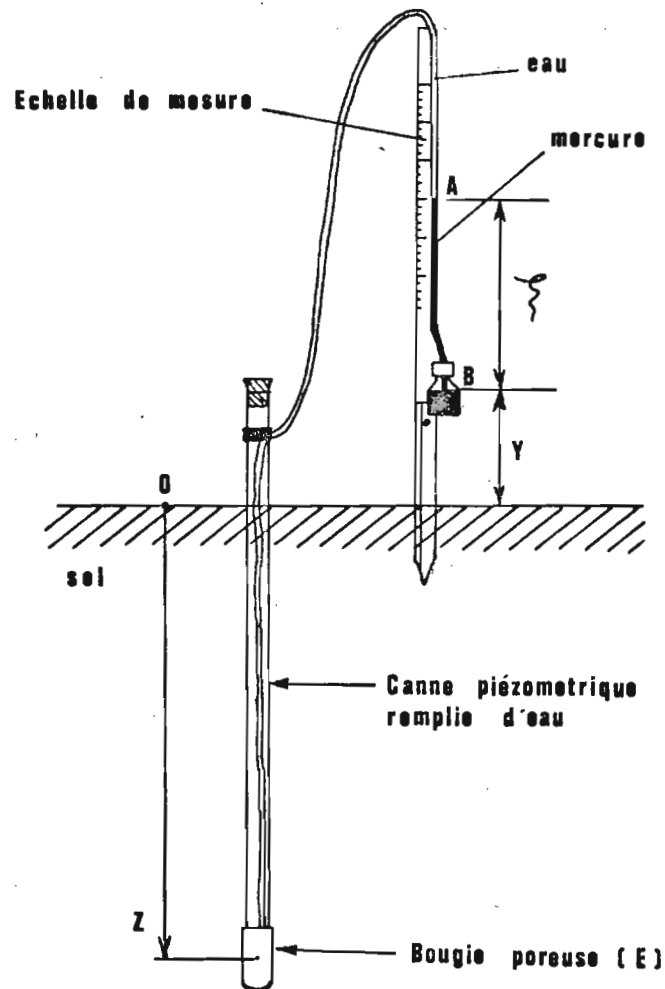
Si le niveau de référence du mercure est situé à une distance $Y(\text{cm})$ au-dessus de la surface du sol, il faut pour obtenir la charge par rapport à la surface du sol, corriger cette formule pour obtenir $H = 12,6 \xi + Y$.

On peut donc déterminer à tout instant la charge hydraulique à la cote d'implantation du tensiomètre par simple lecture du niveau de mercure dans le manomètre. L'échelle des tensiomètres que nous avons utilisés est graduée directement en millibars, soit très sensiblement en centimètres d'eau.

L'utilisation de plusieurs tensiomètres implantés à différentes cotes permet d'obtenir le profil de charge hydraulique dont la pente en tout point donnera, d'après l'équation $H = h - Z$ la direction des transferts.

Ainsi si l'on oriente positivement les vitesses selon l'axe OZ, entre deux tensiomètres Z_1 et Z_2 situés à des profondeurs croissantes ($Z_1 > Z_2$),

- il y a un flux positif (écoulement descendant) quand $H_2 < H_1$). Le gradient est alors négatif. C'est le cas (a) de la figure n°35.
- il y a un flux négatif (écoulement vers le haut, donc évaporation) quand $H_1 < H_2$; gradient positif, cas (b) ;
- il y a un flux nul à la profondeur Z où la courbe $H(Z)$ présente un maximum ou la remontée de mercure un minimum puisqu'à ce niveau $dH/dZ = 0$. C'est le cas (c).

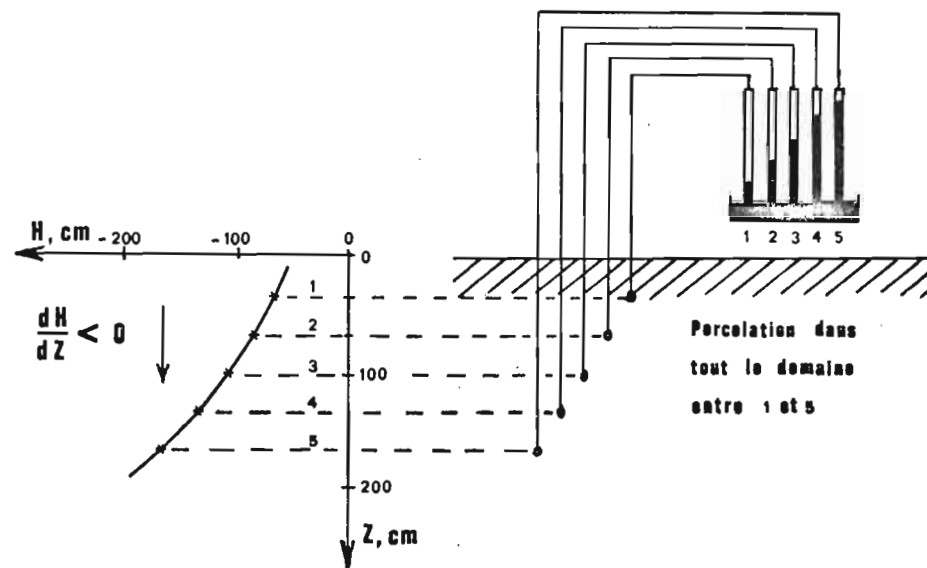


1 — SCHEMA D'UN TENSIOMETRE

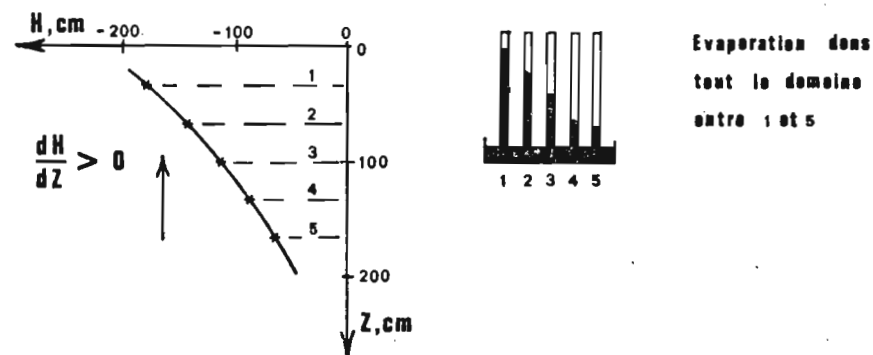
2 — DETERMINATION TENSIOMETRIQUE DE LA DIRECTION
DES TRANSFERTS D'EAU DANS LE SOL

Fig. 35

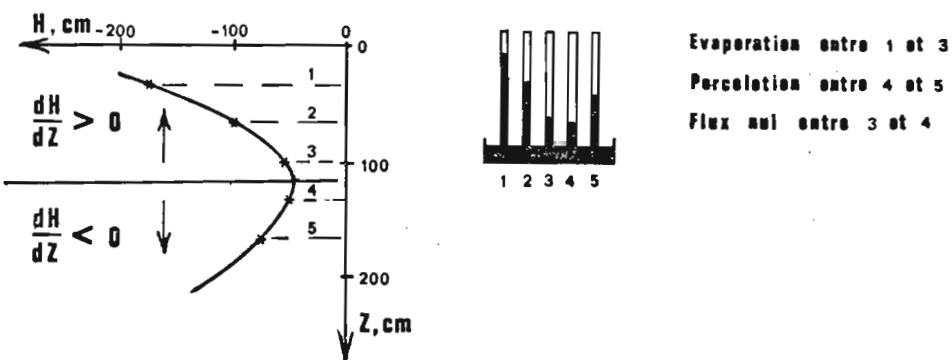
a)



b)



c)



2. LA SONDE A NEUTRONS

Elle est destinée à mesurer les teneurs en eau d'un volume de sol en place.

Nous tenons les renseignements suivants de HILLEL (1974), COUCHAT (1977) et BOIS (1977).

21. Principes de fonctionnement de la sonde à neutrons

Cet instrument, connu également sous le nom de "humidimètre à neutrons" est constitué de deux parties principales :

- a) - une "sonde" que l'on descend dans un tube d'accès placé verticalement dans le sol et qui contient une source de neutrons rapides et un détecteur de neutrons lents ;
- b) - un compteur ou "fréquence-mètre" (à batterie et portatif) pour déterminer le flux de neutrons lents, proportionnels à la teneur en eau du sol.

Les neutrons rapides sont émis radialement dans le sol où ils rencontrent et entrent en collision élastique avec divers noyaux atomiques et perdent graduellement de leur énergie cinétique. La perte moyenne d'énergie est maximale quand un neutron entre en collision avec une particule de masse à peu près égale à la sienne. Ces particules sont les noyaux d'hydrogène de l'eau. Pratiquement il a été trouvé que l'atténuation des neutrons rapides dans le sol est proportionnelle à la teneur en hydrogène du sol. Les neutrons ralentis ("thermiques") se dispersent au hasard dans le sol et forme un nuage autour de la sonde. Certains d'entre eux retournent vers la sonde où ils sont comptés par le détecteur de neutrons lents. A l'intérieur de la cellule du détecteur, ces neutrons lents vont être à l'origine d'une émission de particules alpha (noyau d'hélium) qui crée une impulsion électrique sur un fil chargé. Le nombre d'impulsions pendant un laps de temps déterminé est compté par un compteur.

Le volume effectif de sol au sein duquel on mesure la teneur en eau dépend de la concentration en noyau d'hydrogène, c'est à dire de l'humidité volumique du sol, ainsi que de l'énergie des neutrons rapides émis. Avec les sources Ra-Be couramment utilisées, le volume de sol mesuré est une sphère qui, dans un sol humide, a peut-être 15 cm de diamètre, mais qui dans un sol sec peut avoir 50 cm ou plus. Ce faible pouvoir de résolution spatiale rend l'instrument incompatible à la détection de discontinuités dans la teneur en eau (par exemple les fronts d'humidité ou les limites entre les horizons), ou aux mesures à proximité de la surface du sol. Le fait que ce volume soit relativement grand, peut cependant être un avantage dans les études du bilan d'eau car un tel volume est en général plus représentatif du terrain qu'un petit échantillon.

22. Etalonnage de sonde

La réponse d'un humidimètre à neutrons est influencée par le type de sol et par la densité sèche. Pour interpréter le résultat des mesures en termes de bilans ou d'humidités volumiques, il est donc nécessaire d'étalonner le sol et l'appareil afin de prendre en compte les divers paramètres intervenant dans la réponse de l'humidimètre. Deux méthodes

sont possibles, l'une directe, l'autre indirecte.

- La méthode directe consiste à établir une relation entre les valeurs de comptage et celles d'humidité volumique mesurée sur le même emplacement. On effectue les mesures neutroniques le long d'un forage dont on a conservé les échantillons pour une détermination à l'étuve du profil d'humidité pondérale H_p ; on mesure ensuite le profil de densité sèche ρ_s , et les valeurs d'humidité volumique obtenues ($H_v = \rho_s \times H_p$) sont mises en corrélation, linéaire dans le cas habituel, avec les valeurs de comptage : on en tire une courbe d'étalonnage spécifique du site analysé :

$$N \text{ (i/s)} = \alpha H_v + \beta$$

Cette méthode est simple mais fastidieuse.

- La méthode indirecte consiste à déterminer directement (au laboratoire) les coefficients de la courbe d'étalonnage qui sont liés aux constantes d'absorption et de diffusion des sols vis-à-vis des neutrons thermiques (COUCHAT, 1978).
- Au laboratoire des Radio-Isotopes d'Adiopodoumé, la méthode d'étalonnage utilisée allie des mesures de terrain et une analyse de laboratoire (BOIS, 1977) : le coefficient alpha est mesuré sur échantillon au laboratoire, tandis que le coefficient bêta (ordonnée à l'origine) sera celui des courbes d'étalonnage direct sur le terrain (qui reste donc nécessaire).

ANNEXE n° 5

TEST DE FRAGMENTATION DES V/ZOOLITES (DEJECTIONS DE VERS DE TERRE) DE SOULA.

Ce test que nous avons réalisé au laboratoire est destiné à observer l'état de fragmentation des v/zoolites après une série de 10 humidifications et dessiccations.

1. Caractéristiques du test

Parmi les v/zoolites ramassés à la surface du sol, certains sont de forme entière (ceux de taille supérieure à 20 mm) mais la plupart sont fragmentés (forme polyédrique anguleuse). Il ont été séparés en 4 classes granulométriques par tamisage (3,15 à 5 mm - 5 à 10 mm - 10 à 20 mm et 20 à 35 mm) et disposés dans de grands béciers. Chaque classe est constituée d'environ 120 g. de déjections.

L'humidification consistait à recouvrir les déjections d'une lame d'eau dépassant le tas d'environ 1 cm, pendant une heure. Après quoi l'eau est simplement transvidée, et les déjections mises à sécher à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Cette opération a été recommencée 9 fois en essayant de remuer le moins possible le contenu des béciers. A l'issue des 10 trempages et dessiccations, les déjections sont passées à travers une série de tamis de différentes mailles.

2. Les résultats

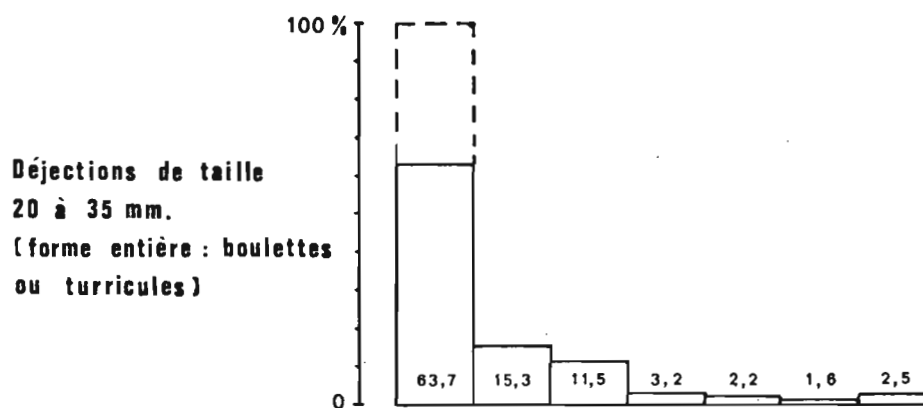
Les différentes classes d'agrégats obtenues sont portées sur la figure 36.

Nous remarquons que les déjections de forme entière se désagrègent difficilement, tandis que les fragments se débitent plus rapidement en petits éléments. Ces derniers gardent une forme polyédrique anguleuse à cubique. La classe d'agrégats la plus représentée est celle comprise entre 2 et 3,15 mm, toutefois il apparaît clairement que toutes les déjections sont destinées à être réduites en "terre fine".

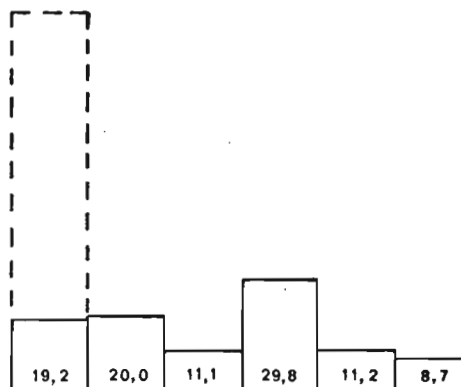
Il est probable qu'en milieu naturel cette désagrégation soit plus rapide à cause du matraquage des v/zoolites par les gouttes de pluie.

Fig. 36 — TEST DE FRAGMENTATION DES V/ZOOLITES
DE SOULA.

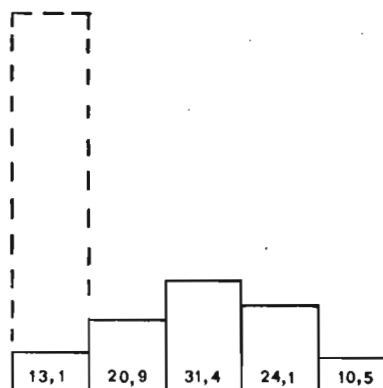
Classes granulométriques : 35 20 10 5 3,15 2 1 0 mm



Déjections de taille
10 à 20 mm.
(fragments)



Déjections de taille
5 à 10 mm.
(fragments)



Déjections de taille
3,15 à 5 mm.
(fragments)

